上海市本科教育高地建设
机械制造及其自动化系列教材

现代装备传输系统

范狄庆 杜向阳 编著

清华大学出版社

上海市本科教育高地建设
机械制造及其自动化系列教材

工程材料
机械设计基础
机械设计基础实验指导
机械原理
机械设计
控制理论基础
互换性与技术测量
机械工程测试技术基础
数控技术
机电传动控制
机械CAD/CAM 技术
现代机械制造装备
智能控制理论、方法与应用
制造装备电气控制
现代装备传输系统
液压与气动系统及其PLC控制理论与实践
VX CAD/CAM 实用教程
人工环境与设备工程专业英语
机械设计基础习题例解
计算机集成系统教学实验指导
机械自动化系统设计指导书

ISBN 978-7-302-22671-0
9 787302 226710 >
定价：30.00元

上海市本科教育高地建设

机械制造及其自动化系列教材

现代装备传输系统

范狄庆 杜向阳 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书共9章，可分为基础和装备两大部分。第一部分包含了绪论和驱动与传动系统，阐述了运输系统的动力及控制管理系统的工作原理、结构、种类等方面的理论知识。第二部分7章，分别介绍了运输系统实际运用的典型类型，对其概念、体系框架、控制管理系统、信息服务系统、运输系统的规划与设计等关键技术进行了较为系统、全面的介绍、分析和讨论。

本书涵盖了现代运输系统的主要内容，在搜集近年来国内外运输系统最新成果的基础上，结合该领域的科研与教育实践编写而成。

本书适用于机械工程类、交通运输、物流工程、物流管理等相关专业的课程教学，也可以为现代运输系统工程设计、维修、开发与运营等方面的专业人员提供理论方法及运用案例。

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989　13701121933

图书在版编目（CIP）数据

现代装备传输系统/范狄庆，杜向阳编著. --北京：清华大学出版社，2010.8
（上海市本科教育高地建设机械制造及其自动化系列教材）
ISBN 978-7-302-22671-0

Ⅰ. ①现… Ⅱ. ①范… ②杜… Ⅲ. ①物料输送系统 Ⅳ. ①TH165

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第104370号

责任编辑：庄红权
责任校对：赵丽敏
责任印制：杨　艳

出版发行：清华大学出版社　　**地　　址**：北京清华大学学研大厦A座
http://www.tup.com.cn　　**邮　　编**：100084
社　总　机：010-62770175　　**邮　购**：010-62786544
投稿与读者服务：010-62776969，c-service@tup.tsinghua.edu.cn
质　量　反　馈：010-62772015，zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn
印 刷 者：北京市世界知识印刷厂
装 订 者：三河市金元印装有限公司
经　　销：全国新华书店
开　　本：185×260　　**印　张**：17　　**字　数**：407千字
版　　次：2010年8月第1版　　**印　次**：2010年8月第1次印刷
印　　数：1～4000
定　　价：30.00元

产品编号：032777-01

上海市本科教育高地建设
机械制造及其自动化系列教材编写委员会

顾　问　陈关龙

主　任　程武山

副主任　何法江

编　委　王明红　蔡颖玲　陆　宁　陆　文

秘　书　周玉凤

序言

进入21世纪以来，我国制造业得到了飞速发展。中国已成为世界制造业大国，正面临从制造业大国向制造业强国转型的关键时期。培养大批适应中国机械工业发展的优秀工程技术人才，是实现这一重大转变的关键。

遵循高等教育、人才培养和社会主义市场经济的规律，围绕《上海优先发展先进制造业行动方案》，紧贴区域经济和社会需求的发展，上海工程技术大学机械工程学院抓住“上海市机械制造及其自动化本科教育高地建设”这一机遇，把握先进制造业和现代服务业互补、融合的趋向，把打造工程本位的复合应用型人才培养基地作为高地建设的核心，把培养具有深厚的科学理论基础和一定的工程实践能力及创新能力的优秀的复合应用型人才——生产一线工程师，作为高地建设的战略发展目标。

正是基于上述考虑，本编写委员会联合清华大学出版社推出“上海市本科教育高地建设机械制造及其自动化系列教材”，希望根据“以生为本，以师为重，以教为基，以训为媒，突出工程实践”的教育思想理念和当前的科技水平和社会发展的需求，精心策划和编写本系列教材，培养出更多视野宽、基础厚、素质高、能力强和富于创造性的工程技术人才。

本系列教材的编写，注重文字通顺，深入浅出，图文并茂，表格清晰，符合国家与部门标准。在编写时，作者重视基础性知识，精选传统内容，使传统内容与新知识之间建立起良好的知识构架；重视处理好教材各章节间的内部逻辑关系，力求符合学生的认识规律，使学习过程变得顺理成章；重视工程实践与教学实验，改变原教材过于偏重理论知识的倾向，力图引导学生通过实践训练，发展自己的工程实践能力；倡导创新实践训练，引导学生发现问题、提出问题、分析问题和解决问题，培养创新思维能力和团队协作能力。

本系列教材的编写和出版，是上海市本科教育高地建设课程和教材改革中的一种尝试，教材中一定会存在不足之处，希望全国同行和广大读者不断提出宝贵意见，使我们编写出的教材能更好地为教育教学改革服务，更好地为培养高质量的人才服务。

陈关龙

2008年12月

前言

随着科技的发展和经济的全球化，现代装备技术已在国民经济中处于极其重要的地位，它对其他工程技术领域起着支撑作用，成为国民经济各行业的基础。作为现代装备的重要一环，现代装备传输系统是现代生产企业实现生产运营的重要环节，发挥的作用越来越大，并开始得到广泛的应用和重视。

现代装备传输系统是应用于工业生产及科学研究领域的物流技术装备。物流技术装备包含了现代装备传输系统。现代装备传输系统的概念在现代化生产领域中可以解释为实现企业内部各种物资从原料或半成品到所需产品的生产过程中的空间转移和时间转移，并保证物资高效、快捷、准确、安全地流转和有效监控所需要的技术与装备。它综合了机械、电子、计算机、自动化、管理学、系统工程的技术，是一个复杂的控制系统。

在现代生产中，现代装备传输系统的基本任务是为了完成生产过程物资实体（原材料、半成品、零配件、成品等）的物理流动（即在合时的时间、正确的位置），采用合理的手段和高效的方法，传输、搬运和储存物资实体，并及时完成物料信息的传输和修改，以及输送工具（载体）的回收。

可以看出，现代装备传输系统不仅包括传输系统的硬件装备和软件控制，还包括了生产管理、计划和工艺等知识的融合，这需要从更高的层次和系统来进行研究，如从整个生产制造系统、MRP 等角度来规划设计。事实上，现代装备传输系统已成为现代生产制造系统的有机组成部分，它与各种生产设备和其他辅助设备共同组成了完整的现代自动化生产系统。

考虑到本课程针对机械工程及其自动化（现代装备及控制）专业的学生，因此本书主要侧重传输系统的硬件机械装备、软件控制技术等方面的内容。

本书着重介绍了现代装备传输系统的基础知识，在此基础上，介绍了现代装备传输系统的工作原理、基本结构、种类，并结合实例综合介绍了传输系统工作特点、技术要点等内容。本书的主要内容如下：

第 1 章绪论部分介绍了现代装备、现代运输系统的基本概念、基本结构、工作原理、发展概况。

第 2 章介绍了现代运输系统的驱动与传动系统，叙述了动力和控制方面的内容，简单介绍了液压、气压驱动的工作原理、元器件结构，常用的液压、气动回路及系统；机电传动的工作原理、元器件结构，自动控制系统的分类，单片机控制，工控机控制，PLC 控制，总线控制技术等相关内容。

第3章介绍了输送装置的原理及结构等知识，以及散装物料连续运输装置、成件物品连续运输设备及流体输送系统等相关知识。

第4章介绍了起重堆垛装置的基本原理和结构，并对单轨起重机、梁式悬挂起重机、悬臂式起重机和平衡吊分别进行了介绍。

第5章介绍了工业搬运车辆原理等方面的基础知识，并对常用工业搬运车辆，如叉车、电动托盘搬运车、电动托盘堆垛车、牵引车、自动导引小车(AGV)等，从工作原理、机械结构、系统控制方面进行了较为详细的阐述。

第6章介绍了检测传感系统的有关基本知识及分拣机构的基本概念、工作原理、结构特点及种类。

第7章介绍了自动化立体仓库，叙述了自动化立体仓库的分类、结构、系统设计、构造设计等基本概念，并对典型的堆垛机和货架的设计技术进行了阐述。

第8章介绍了自动刀库系统的基本原理和结构，并对典型类型自动换刀装置、刀库的结构、工作原理方面进行了叙述。

第9章搬运机器人部分介绍了搬运机器人应用背景、技术要求、结构组成、对外输入输出方式、接口等内容。

附录A中给出语音识别技术在AGV领域的应用实例。

本书由上海工程技术大学范狄庆、杜向阳编著。其中范狄庆负责第1～4章内容的编写，杜向阳负责第5～9章内容及附录A的编写。

由于作者水平有限，加之检测技术发展迅速，书中难免有不妥和错误之处，殷切希望各院校师生和广大读者提出宝贵意见。

作　者

2010年6月

目录

1 绪论 …… 1

1.1 概述 …… 1

1.2 现代装备传输系统与物流技术装备 …… 1

1.3 现代装备传输系统的发展及其地位 …… 4

2 驱动与传动 …… 7

2.1 液压与气压驱动 …… 7

2.1.1 概述 …… 7

2.1.2 液压与气压驱动的工作原理 …… 10

2.1.3 液压驱动系统的组成 …… 12

2.1.4 液压驱动系统的主要故障形式 …… 20

2.1.5 气压驱动系统简介 …… 22

2.2 机电传动 …… 23

2.2.1 概述 …… 23

2.2.2 电动机 …… 25

2.3 带传动、链传动和钢丝绳传动 …… 33

3 输送机械 …… 39

3.1 概述 …… 39

3.2 带式输送机 …… 40

3.2.1 带式输送机的类型 …… 40

3.2.2 带式输送机的结构组成 …… 40

3.2.3 带式输送机的布置形式 …… 48

3.2.4 带式输送机的基本参数 …… 48

3.2.5 带式输送机的选用和设计原则 …… 51

3.2.6 新型带式输送机 …… 51

3.3 滚筒输送机 …… 55

3.3.1 滚筒输送机的特点 …… 55
3.3.2 滚筒输送机的分类和结构 …… 56
3.3.3 滚筒输送机的换向装置 …… 61
3.3.4 滚筒输送机有关参数的计算 …… 65
3.3.5 滚筒式输送机应用举例 …… 69
3.4 链式输送机 …… 71
3.4.1 板式输送机 …… 72
3.4.2 刮板式输送机 …… 75
3.4.3 悬挂式输送机 …… 78
3.4.4 链条式输送机 …… 85
3.5 流体输送机械 …… 86
3.5.1 泵 …… 86
3.5.2 气体压缩与输送设备 …… 94
3.6 其他形式输送机 …… 99
3.6.1 螺旋输送机 …… 99
3.6.2 斗式输送机 …… 99
3.6.3 气力输送机 …… 100

4 起重堆垛 …… 103
4.1 堆垛机的分类及组成 …… 103
4.1.1 堆垛机的分类 …… 103
4.1.2 堆垛机的组成 …… 106
4.2 货叉伸缩机构 …… 108
4.3 电气控制及认址系统 …… 111
4.4 安全保护装置 …… 119
4.5 天轨及地轨技术 …… 122
4.5.1 天轨 …… 122
4.5.2 地轨 …… 122

5 工业搬运车辆 …… 124
5.1 概述 …… 124
5.2 叉车 …… 126
5.3 牵引车 …… 130
5.4 真空吸盘机 …… 132
5.5 托盘码货机和托盘卸货机 …… 133
5.6 自动导引小车 …… 134
5.6.1 AGV 发展概况 …… 135
5.6.2 AGV 的特点及导向调度方法 …… 138

5.6.3 AGV 的组成 …… 143

6 检测传感装置 …… 150
6.1 自动检测技术 …… 150
6.1.1 自动检测装置的分类 …… 150
6.1.2 自动检测中常用的传感器 …… 151
6.2 工件的自动检测 …… 153
6.2.1 工件的自动识别 …… 153
6.2.2 工件尺寸和形状的自动检测 …… 156
6.3 装配系统的自动检测 …… 164
6.3.1 确定必要的自动检测工序 …… 164
6.3.2 自动检测方法 …… 165
6.3.3 自动检测工作头 …… 166
6.3.4 不合格装配件的处理方式 …… 167
6.4 分拣机构 …… 168
6.4.1 概述 …… 168
6.4.2 自动分拣系统的组成和工作过程 …… 169
6.5 各种分拣机械 …… 175
6.5.1 链式分拣机 …… 176
6.5.2 胶带分拣机 …… 177
6.5.3 钢带分拣机 …… 178
6.5.4 辊道分拣机 …… 179
6.5.5 专用分拣机 …… 179

7 自动化立体仓库 …… 181
7.1 自动化立体仓库的特点及分类 …… 181
7.1.1 自动化立体仓库的特点 …… 181
7.1.2 自动化立体仓库的分类 …… 182
7.2 自动化立体仓库的构成 …… 185
7.2.1 机械设备 …… 185
7.2.2 电气与电子设备 …… 189
7.3 巷道式堆垛机 …… 191
7.4 自动化立体仓库的自动寻址 …… 191
7.4.1 认址装置 …… 191
7.4.2 认址检测方式 …… 191
7.5 仓库自动化系统的设计 …… 193
7.5.1 设计原则 …… 193
7.5.2 系统设计过程 …… 195

7.5.3 系统功能自动化 …… 197
7.5.4 生产能力及仿真 …… 197
7.5.5 几种典型的自动化系统结构 …… 198
7.6 自动化立体仓库的发展趋势与展望 …… 200

8 自动刀库 …… 202
8.1 自动化刀具 …… 202
8.2 自动化刀库和刀具交换与运送装置 …… 203
8.3 刀架装置的功能及其基本要求 …… 207
8.4 刀架结构 …… 210
8.5 自动换刀装置 …… 212
8.6 自动选刀方式 …… 216
8.7 换刀机械手 …… 218

9 搬运机器人 …… 221
9.1 概述 …… 221
9.2 物流机器人的一般组成 …… 225
9.3 用机械手进行装配作业的基本动作 …… 226
9.4 SCARA 装配机器人 …… 230
9.5 机器人在装配中的应用举例 …… 236
9.6 机器人在搬运易碎易爆物品中的应用举例 …… 238

附录 A AGV 应用实例 …… 240
A.1 整体设计方案 …… 240
A.2 硬件电路设计 …… 241
A.3 系统设计 …… 250

参考文献 …… 258



绪　论

1.1 概　述

随着科技的发展和经济的全球化，现代装备技术已在国民经济中处于极其重要的地位，它对其他工程技术领域起着支撑作用，成为国民经济各行业的基础。作为现代装备的重要一环，现代装备传输系统是现代生产企业实现生产运营的重要环节，发挥的作用越来越大，并得到广泛的重视和应用。

现代计算机、通信、微电子等技术的发展推动了 CAD，CAPP，CAM 和 MRP，FMS，GT，CE，PDM，CIMS，VM，LP，AM，NM，CIM 和 IM 等各种先进制造技术、工具和制造系统的发展，已成为一个国家经济发展水平的重要标志；先进制造技术与装备制造业的结合已成为现代装备制造业发展的一大特征。目前，对什么是现代装备尚没有统一的说法，在此，我们认为，运用计算机技术、微电子技术、通信技术、自动化技术等现代技术和现代工艺手段的各类装备，都可称为现代装备。

根据学科特点，本课程所提到的现代装备主要是指工业生产、加工领域的各类装备。

现代装备大致可以分类为非电气机械、电气机械、传输设备、专业和科学设备。本书介绍的是关于传输系统方面的有关内容。

1.2 现代装备传输系统与物流技术装备

现代装备传输系统是应用于工业生产领域的物流技术装备，物流技术装备包含了现代装备传输系统。

1. 物流技术装备概述

(1) 概念

物流(logistics)是指物资从起点到终点及相关信息流动全过程。

2001 年 8 月 1 日实施的《中华人民共和国国家标准物流术语》中指出：物品从供应地向接收地的实体流动过程，称为物流。根据实际需要，物流应对将运输、储存、装卸、搬运、包装、流通加工、配送、信息处理等基本功能实施有机结合。

现代物流是将采购、生产、销售等传统物流中的各环节予以综合考虑，包括运输的合理化、仓储自动化、包装标准化、装卸机械化、加工配送一体化、信息管理网络化。物流工作作

为一个产业广泛用于流通领域、生产领域和社会经济中；物流学是自然科学和社会科学相互交叉和渗透的边缘学科，既涉及生产、运输等技术和装备，又涉及经济学、统计学和管理学，是多学科的综合。

物流技术是以科学知识和实践经验为依据而创造的物流活动手段，是指人们在物流活动中所使用的各种物质手段、作业程序、工艺技巧、劳动经验和工作方法的总和。

现代物流技术具有各领域技术应用的广泛性、集成性、综合性和交叉性。

物流技术装备是指在生产领域、流通领域、消费领域和军事领域中，为了实现各种物资从供应地到消费地的空间转移和时间转移，并保证物资高效、快捷、准确、安全地流转和有效监控所需要的技术与装备。

(2) 分类

物流技术装备按功能可分为物流信息技术装备、物料装卸搬运技术装备、仓储技术装备、货物运输技术装备和包装与流通技术装备等。

2. 现代装备传输系统概述

现代装备传输系统是在现代化生产领域中，为实现企业内部各种物资从原料或半成品到所需产品的生产过程中的空间转移和时间转移，并保证物资高效、快捷、准确、安全地流转和有效监控所需要的技术与装备。它综合了机械、电子、计算机、自动化、管理学、系统工程的技术，是一个复杂的控制系统。

现代装备传输系统基本任务是完成生产过程物资实体(原材料、半成品、零配件、成品等)的物理流动(即在合时的时间、正确的位置)，运用合理的手段和高效的方法，传输、搬运和储存物资实体，并及时完成物料信息的传输和修改，以及输送工具(载体)的回收。

可以看出，现代装备传输系统不仅包括传输系统的硬件装备和软件控制，还包括了生产管理、计划和工艺等知识的融合，这需要从更高的层次和系统来进行研究，如从整个生产制造系统、MRP 等角度来规划设计。事实上，现代装备传输系统已成为现代生产制造系统的一部分，它与各种生产设备和其他辅助设备共同组成了完整的现代自动化生产系统。

本书内容主要侧重于传输系统的机械装备、控制检测技术等。

3. 现代装备传输系统与物流技术装备的关系

现代装备传输系统本质上是生产物流系统，是应用于工业生产领域的物流技术装备，物流技术装备包含了现代装备传输系统。它们的共同点是完成物质流动的技术装备；不同点是应用的场合、对象不同：现代装备传输系统一般应用于工业生产领域，应用对象为生产加工的物资实体；而物流技术装备则应用于社会所有物资流转领域，应用对象千变万化。

4. 现代装备运输系统要求

现代装备运输系统因其工作要求、应用目标和使用环境的不同，其具体功能要求有很大的差异。例如，对主要用作搬运的工业机器人来说，它主要用于物品的搬运与工件的上下料，是一种周而复始的间歇运动。因此对它的基本要求是较大的持重能力和作业范围、较高的运动速度或加速度、一定的重复定位精度、方便的编程和示教能力及良好的操作性。当然

对一些共性的指标，如经济性、可靠性、安全性、稳定性等也都有相应的要求。

各种物流机械功能的要求如下：

① 运动要求，如速度、加速度、调速范围、运动范围、运动轨迹、运动精度等。

② 动力要求，如传递的力、力矩、功率、动力运行效率等。

③ 体积和重量要求，如尺寸(长、宽、高)、占地面积、重量、重心、质量比等。

④ 操作性要求，如反应能力、舒适性、操作力以及编程示教能力、人-机交互功能等。

⑤ 可靠性和寿命要求，包括机械及电气零、部件的可靠性、耐磨性和使用寿命，控制系统的抗干扰能力，自检、自诊断等功能以及系统的平均无故障时间等。

⑥ 安全性要求，包括机械装置的强度、刚度、热力学性能、摩擦学特性、振动稳定性和电器装置的绝缘、耐压、过流、过热性能以及系统的自动报警、自动保护、自动处理等功能。

⑦ 经济性要求，如设计和制造的经济性，使用和维修的经济性等。

⑧ 环境保护要求，如噪声、振动、尘粒等防治，“三废”的排放治理，对周围人员和设备的影响以及可回收、可利用等。

⑨ 产品造型要求，如外观、色彩、与环境协调等美学指标。

⑩ 其他特殊要求，如一些精密设备要有良好的防振性、要求有自适应和自动补偿功能，经常搬运的设备要求模块化、易拆、易装，户外设备要求有良好的密封及防护等。

5. 现代装备运输系统的总体组成

现代物流运输系统的基本功能能够代替人的体力劳动和一部分脑力劳动。因此，人类在长期进化过程中形成的人体功能结构应该是物流机械系统的最好蓝本。大家知道，人体是由头脑、感官、肌肉与手足、内脏、骨骼五大部分组成。而物流机械系统一般是由机械本体、动力部分、检测传感装置、控制及信息处理装置、执行机构组成。

(1) 机械本体

机械本体包括机身、框架、机械连接等在内的支持结构。机械本体在整个产品中占有较大的体积和重量，因此要求采用新结构、新材料、新工艺，以适应物流机械产品在多功能、可靠、高效、节能、小型、轻量、美观等方面的要求。

(2) 动力部分

动力部分为系统提供动力，驱动执行机构，使系统正常运行。物流机械系统中以电能利用为主，因此动力部分应包括电源、电动机等执行元件及其驱动电路。用尽可能小的动力输入获得尽可能大的输出，以及保持高度的可靠性，这是对动力部分的主要要求。

(3) 检测传感装置

检测传感装置的功能是对系统运行时的内部状态和外部环境信息进行检测。被测信息包括位置、速度、力、力矩、电压、电流、温度、湿度等物理量。传感器把这些物理量变成一定规格的电信号，然后由控制及信息处理装置处理、决策，确定下一步的动作。检测传感装置一般由传感器及相应的信号检测电路组成，一般都希望它体积小、精度高、抗干扰能力强并且便于安装和连接。

(4) 控制及信息处理装置

控制及信息处理装置能根据系统功能要求和传感器的反馈信息进行处理、运算和决策，指挥和控制整个系统的运行。它主要由计算机及相应硬、软件构成的控制系统及多种接口

模块组成。对它的主要要求是高速和高可靠性，同时要不断向柔性和智能化方向发展。

(5) 执行机构

执行机构包括机械传动和操作机构，其形式因作业对象的不同而千变万化。当接到控制信号后，执行机构将忠实地执行收到的指令，完成系统所要完成的动作。执行机构一般采用机械、电气、液压等机构。由于执行机构是实现系统目的功能的直接参与者，其性能好坏往往决定整个系统的性能，因此一般要求精度高、重复性好、重量轻，并希望实现组件化和系列化，以提高系统的整体可靠性。

6. 典型现代装备传输系统

现代装备传输系统一般由输送机械、搬运机械(机械手、AGV 等)、分拣机械、自动化立体仓库、监控系统、检测单元以及信息采集技术等组成。图 1.1 是一个典型的现代柔性制造系统示意图，同时它也是一个典型的现代传输装备系统。

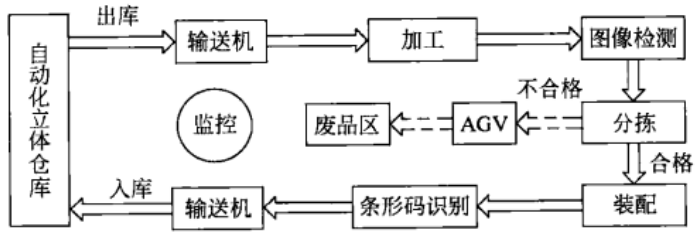


图 1.1 典型现代传输系统示意图

1.3 现代装备传输系统的发展及其地位

1. 现代装备传输系统的发展

在生产制造迅速发展的初期，人们并没有对生产传输系统给予足够的重视。随着社会生产力的发展，生产制造过程的自动化、柔性化及生产规模越来越大，生产设备的高效率与传输系统的低效率之间的矛盾越来越突出，迫切需要现代装备传输系统以适应现代化生产。

传输系统的发展过程大体经历了以下阶段。

(1) 人工传输系统

初始生产传输系统实际是人工操作系统，称为人工传输系统。这一阶段，生产过程中物料的输送、搬运、储存、管理和控制主要依靠人工实现。尽管效率低下，但适时性和灵活性好，投资小，至今仍在几乎所有的生产传输系统中应用，是现代装备传输系统的来源。

(2) 机械化传输系统

近代机械装备技术的发展产生了机械化传输系统，主要包括各种输送机械、机械手、堆垛机和升降机、工业输送车，用来移动和搬运物料，用货架、托盘和可移动式货架存储物料，通过人工操作和控制机械化传输系统的运行。

机械化传输系统的出现满足了生产系统对速度、精度、效率等方面要求，延伸了人的活动范围和能力，从 19 世纪中叶到 20 世纪中叶，一直起着主导作用。机械化传输系统是现代装备传输系统的基础和雏形，在当今的生产传输系统中仍是主要的组成部分。

(3) 现代传输系统

20世纪50年代末和60年代，在自动化技术的推动下，相继出现了自动导引小车(AGV)、自动存储机器人、电子扫描和条形码自动识别与分拣系统，标志着现代装备传输系统的出现。20世纪七八十年代，实现了自动化输送系统、搬运装卸设备和自动化立体仓库等，进入了自动化传输系统阶段，现代装备传输系统初步成型，生产传输的工作基本实现了自动化，但传输系统各自独立应用，只是实现了各设备局部自动化。随着计算机技术、通信技术等现代技术的发展，现代装备传输系统开始向集成自动化发展，将传输系统的信息集成起来，并通过计算机网络互相沟通，强调在中央控制系统下各个自动化传输装备(设备)的协调性及与生产制造设备的协调。尽管自20世纪80年代以来我国现代装备传输系统有了较快的发展，但水平仍然较低，目前与欧美发达国家和地区还有一定差距。

2. 现代装备传输系统发展趋势

现代生产制造业发展有三种明显的趋势：

① 自动化水平越来越高，生产率大大提高，生产节奏加快。

② 柔性化水平也越来越高，生产灵活性要求日益凸显。

③ 生产规模越来越大，专业分工越来越细，生产工序与生产环节越来越复杂。

为适应现代生产制造业发展，现代装备传输系统正向以下几个方向发展：

① 数字化，数字化程度大大提高，部分装备向全数字装备发展。

② 信息化，计算机、信息技术和通信技术的发展使现代装备传输系统信息化和集成程度日益提高，从而可以实现高度自动化和对现代装备传输系统的实时监控，大大提高其运作效率。

③ 智能化，是现代传输系统为满足对生产系统柔性要求越来越高而提出的要求，现代装备传输系统作业过程中大量的运筹和决策，如传输(搬运)路径的选择、自动导向小车的运行轨迹和作业控制、自动分拣机的运行和自动化立体仓库的管理等都需要大量的知识才能解决。将先进的微电子技术、计算机技术、模糊控制技术等应用到现代装备传输系统中，实现传输装备的智能化是今后的发展方向。

④ 系统化，是现代装备传输系统的重要发展方向。系统化是指将组成现代装备传输系统的设备成套、匹配，并达到高效、经济的要求。现代装备传输系统中的自动化立体仓库、AGV、分拣系统、机器人等各种设备功能各异，只有在整体规划下进行系统化，才能各显其能，发挥最大效益。

⑤ 绿色化，满足环保要求，节能、降耗、减振、减噪等。

⑥ 实用性，如易维护、操作简单，具有较高的安全性和可靠性。

3. 现代装备传输系统的地位

现代装备传输系统是现代生产的重要组成部分。随着生产力的日益提高，现代装备传输系统蕴藏的巨大潜力越来越引起人们的注意。在提高加工制造设备本身能力和效益的同时，挖掘传输系统潜力，追求提高生产系统的总体效益是现代化生产的重要标志之一。

现代装备传输系统技术和装备的应用和普及程度直接影响着现代生产制造业的水平。因此，现代装备传输系统的技术水平是现代生产制造业先进与否的主要标志之一。

现代装备传输系统是采用先进制造技术的生产运作过程得以顺利实施的基础。随着CIM,FM 等先进制造技术的推广使用,对现代装备传输系统提出了更高的要求。计算机控制的自动化生产线,不仅是一条产品加工、装配的流水线,也是一个由输送带、机械手、AGV、自控装置等技术和装备构成的现代装备传输系统。汽车制造业、家电制造业、IT 制造业和流程类制造业的现代装备传输系统,是集光、机、电信息技术为一体的系统工程。它的目标和作用是增强快速反应能力、创新能力和竞争能力,提高效益和质量。

2 驱动与传动

现代装备传输系统的驱动主要包括液压驱动、气压驱动和电动机驱动；传统系统包括带传动、链传动及钢丝绳传动等。

2.1 液压与气压驱动

2.1.1 概述

1. 液压与气压驱动的基本概念

液压与气压驱动统称流体传动与控制，它是以流体作为工作介质，利用密封工作容积内气体或液体的压力来完成由原动机向工作装置的能量或动力的传递、转换或控制。相对于古老的机械驱动来说，它是一门比较新的技术。

2. 液压与气压驱动技术的应用及进展

早在17世纪末，帕斯卡就提出静压传递原理，但直到1795年，英国才制造出世界上第一台水压机。近代液压驱动是随着19世纪石油工业的蓬勃发展而起步的，液压驱动系统最早的成功实践是应用在舰艇上的炮塔转位器，其后才应用在机床等其他场合。第二次世界大战间，军事上的需求促使液压与气动技术迅速发展。战后，液压与气动技术很快转入民用，在机床、工程机械、冶金、矿山、塑料、农林、汽车、船舶等行业得到大幅度的应用和发展。液压与气压驱动在工业上的真正推广使用，则是在20世纪五六十年代，随着原子能技术、真空技术和计算机技术（微电子技术）等的飞速发展，再次将液压与气动技术推向前进，使之发展成为包括传动、控制和检测在内的一门完整的自动化技术。现今，发达国家生产的95%加工机械、90%的数控加工中心和95%以上的自动生产线都采用了液压与气动技术。图2.1所示为液压驱动系统在工业中的应用实图。特别是近年来，随着微电子技术和机电一体化技术的迅速发展并且渗透到液压与气动技术之中，与之密切配合，使液压与气压驱动在工业部门的各个领域得到更广泛的应用，已成为实现生产

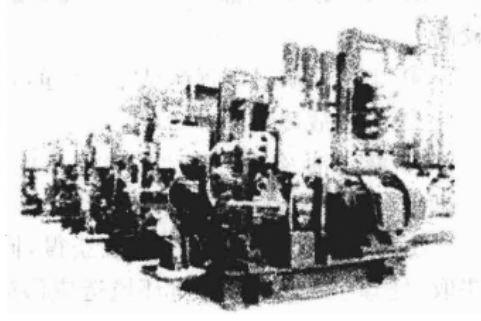


图2.1 液压驱动系统在工业中的应用实图

过程的自动化、提高劳动生产率、降低劳动强度的重要手段之一。

随着液压与气动机械自动化程度的不断提高，液压元件应用数量急剧增加，元件小型化、系统集成化是必然的发展趋势；特别是近 10 年来，液压与气动技术和传感技术、微电子技术密切结合，创造出很多高可靠性、低成本的节能元件，使其在高压、大功率、低噪声、长寿命、高度集成化等方面取得重大进展。无疑，液压与气动元件及其系统的计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助试验(CAT)和计算机实时控制是当前液压与气动技术的发展方向。

3. 液压与气压驱动的主要优、缺点

(1) 液压驱动的主要优点

① 与其他一些传动方式相比，在同等功率下，液压装置体积小、质量轻、结构紧凑；在同等体积下，液压装置能产生更大的动力。

② 液压装置工作比较平稳，由于质量轻、惯性小、反应快、易于实现快速启动和制动，适用于频繁换向的工况。

③ 液压装置能在大范围内实现无级调速(调速范围可达 2000 r/min)，并且可以在运行过程中进行调速。

④ 液压驱动易于实现自动化，对液体压力、流量或流动方向易于进行调节和控制。当将液压控制与电器控制、电子控制相结合时，整个传动装置能实现很复杂的顺序动作，也能很方便地实现远程控制和过载保护。

⑤ 由于液压元件大多已实现了标准化、系列化和通用化，液压系统的设计、制造和使用都比较方便。

⑥ 液压介质有良好的润滑性和防锈性，有利于延长液压元件的使用寿命。

⑦ 液压驱动装置便于实现运动转换。液压元件和附件的排列及布置可根据需要灵活安排。

⑧ 功率损失所产生的热量可随着液压油排出，即使长期运转，系统也不会过热，这是其他传动装置无法办到的。

(2) 液压驱动的主要缺点

① 在工作过程中常有较多的能量损失(摩擦损失和泄漏损失等)，长距离传动时更是如此，因而总效率较低。

② 对油温变化比较敏感，其性能受温度影响较大。

③ 为了减少泄漏，液压元件在制造的精度上要求较高，对密封的要求也较高，因此造价较高。

④ 工作介质必须保持清洁、干净，否则会影响液压元件的寿命，甚至导致整个系统失效。

⑤ 出现故障时不易找出原因。

⑥ 液压油及油气的泄漏会污染周围环境。

(3) 气压驱动的主要优点

① 空气可以从大气中直接获得，同时用过的空气也可以直接排到大气中，工作介质的获取、处理很方便，不会对环境造成污染。

② 工作环境适应性好。即使在易燃、易爆、多尘、辐射、强磁、振动、冲击等恶劣环境中，气压系统也能安全、可靠地工作。对要求高净化、无污染的场合，如食品加工、印刷、精密检测等，更具有独特的适应能力。

③ 空气的黏度很小，在管路中的压力损失很小，因此，压缩空气便于集中供应（如空气站）和远距离输送。

④ 气动控制比液压控制动作迅速、反应快，利用气压信号可以很方便地实现系统的自动控制。

⑤ 气动元件结构简单，易于加工，使用寿命长，适于标准化、系列化和通用化。

⑥ 管道不会堵塞，系统维护简单，也不存在介质变质、补充及更换等问题。

⑦ 使用安全，便于实现过载保护。

（4）气压驱动的主要缺点

① 由于空气可压缩性较大，如果靠调节空气流量来进行速度控制，将使运动速度的稳定性较差。

② 目前气动系统的压力不高，故总的输出力不会很大。

③ 气动装置中的信号传递速度慢于电子及光速（仅限于声速范围内），不能适用于对信号传递速度要求十分高的复杂系统中，同时实现生产过程的远距离控制也比较困难。

④ 传动效率较低，排气噪声较大。

总的来说，液压和气压驱动的优点是主要的，它们的缺点将会随着科学技术的发展而不断得到克服和改善。例如，将液压与气压驱动、电力传动、机械传动等合理地联合使用，构成气-液、电-液、机-液、电-气-液、机-电-液等联合传动，以进一步发挥各自的优点，相互补充，弥补各自的不足之处。

4. 液压与气压驱动与其他传动方式性能的比较（见表 2.1）

表 2.1 液压与气压驱动与其他传动方式性能的比较

项目		液压方式	气压方式	机械方式	电气方式	电子方式
操作力		大（可达数十千牛以上）	稍大（可达 10～10 kN）	较大	不大	小
操作速度		稍大（可达 1 m/s）	大（可达 10 m/s）	小	大	大
敏感性		大	小	中等	大	大
负荷变化的影响		很少有	特别大	几乎没有	几乎没有	几乎没有
准确性		稍好	不好	良好	良好	良好
构造		稍复杂	简单	一般	稍复杂	复杂
配线、配管		复杂	稍复杂	没有	较简单	复杂
环境	温度	一般（70℃以下）	一般（100℃以下）	一般	要求高	要求高
	湿度	一般	排气时应注意	一般	要求高	要求高
	腐蚀性	一般	一般	一般	要求高	要求高
	振动	不怕	不怕	一般	要求高	要求特别高
维护		要求较高	简单	简单	要求较高	要求更高
危险性		注意防火	安全	无特殊问题	注意漏电	无特殊问题
信号变换		较容易	较容易	困难	容易	容易

续表

项　目	液压方式	气压方式	机械方式	电气方式	电子方式
远距离操作	容易	容易	困难	特别容易	特别容易
动力源故障时	有蓄能器时可有若干动作	消耗系统内残余风量后动作停止	动作停止	动作停止	动作停止
安装位置的自由度	有	有	很少有	有	有
无级变速	稍好	良好	稍困难	稍困难	良好
速度调节	容易	容易	稍困难	容易	容易
工作寿命	一般	长	一般	较短	短
价格	稍贵	一般	一般	稍贵	贵

2.1.2 液压与气压驱动的工作原理

液压驱动以液压油作为工作介质，而气压驱动则以空气作为工作介质，两种工作介质的不同之处在于液体几乎不可压缩，而气体则具有较大的可压缩性。两者的基本工作原理、元件的工作机理及系统回路的构成等方面是相似的。下面介绍它们的工作原理。图 2.2 所示为液压千斤顶示意图。当向上提手柄 1 时，小液压缸 2 内的活塞上移，其下腔容积增大而产生真空，此时单向阀 3 处于关闭状态，油箱 5 里的液压油在大气压的作用下，顶开吸油单向阀 4，进入小液压缸 2 的下腔并充满整个容积。当向下压手柄时，小液压缸 2 的下腔被压缩，压力迅速增大，此时吸油单向阀 4 处于关闭状态，压油单向阀 3 被顶开，液压油进入大液压缸 7 的下腔。如此不断地上下扳动手柄 1，则小液压缸 2 不断地从油箱 5 内吸油，向大液压缸 7 内注油。当油液的压力升高到能克服作用在大活塞上的负载（重物）8 所需要的压力值时，重物就会随着手柄 1 的按下而上升。当手柄 1 不动时，大活塞连同重物 8 就会原地自锁不动。如果打开截止阀 6，大液压缸 7 下腔的油直通油箱，在重力的作用下，重物 8 连同大活塞一起下移，迅速回复到原始位置。

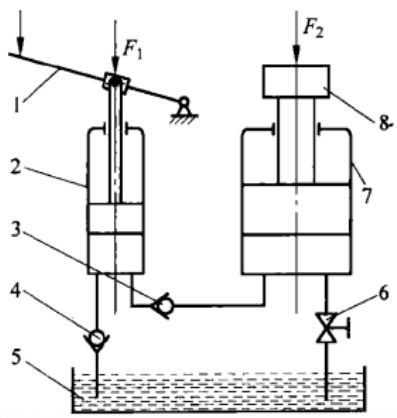


图 2.2　液压千斤顶示意图

1—手柄；2—小液压缸；3—单向阀（压油）；4—单向阀（吸油）；5—油箱；6—截止阀（放油螺塞）；7—大液压缸；8—负载（重物）

由液压千斤顶的工作原理可知，小液压缸 2 与单向阀 3、4 一起，完成吸油、排油，将杠杆的机械能转换成油液的压力能输出，小液压缸就相当于手动液压泵。大液压缸 7 将油液的压力能转化成机械能输出，抬起重物，对外作功，称为（举升）液压缸。在这里，大、小液压缸及单向阀、截止阀和油箱组成了最简单的液压驱动系统，实现了力和运动的转化与传递。

如果将图 2.2 中的油箱去掉，下面的两根管子直通大气，就成为气动系统原理图，此时的工作介质是空气。因为气体有压缩性，不像液压系统那样一按手柄，重物就会立即相应上移，而是要多次上下扳动手柄，使大小汽缸下腔的气压逐渐升高，直到气体的压力达到使重

物上升所需要的压力值时，重物才会上升。在重物上升的过程中，由于气体可压缩性较大的缘故，气压值不像液压值那样稳定，常常会发生波动。

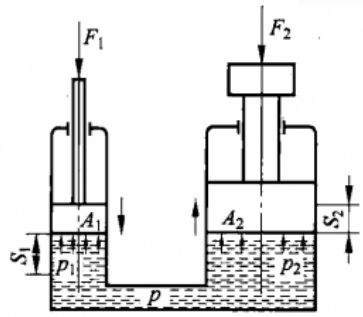


图 2.3 液压千斤顶工作原理图

1. 力的传递

图 2.3 所示为液压千斤顶工作原理图。

设大、小液压缸的活塞面积分别为 A_2 和 A_1，作用在大活塞上的负载力为 F_2，该力在大液压缸中所产生的液体压强为

$$p_2 = \frac{F_2}{A_2} \tag{2.1}$$

根据帕斯卡原理，大、小液压缸活塞下腔及连接管路所构成的封闭容器内的油液具有相同的压强值，即 $p_1 = p_2 = p$，为了克服负载力 F_2，使大液压缸的活塞运动，作用在小液压缸活塞上的作用力 F_1 应为（忽略活塞运动时的摩擦阻力）

$$F_1 = p_1 A_1 = p_2 A_1 = F_2 \frac{A_1}{A_2} \tag{2.2}$$

由式(2.1)和式(2.2)可知，在 A_1、A_2 一定时，负载力 F_2 越大，系统中的压力 p 也越大，所需要的作用力 F_1 也越大，即系统压力与外载荷密切相关，这是液压与气压驱动工作原理的第一个特征，即液压与气压驱动中的工作压力取决于外载。

这是液压与气压驱动中非常重要的基本概念，对于实际流体，除了外载荷外，负载还应包括流体在管路和元件中流动时所受到的“阻力”等。应当明确指出的是，液压元件、附件的强度和密封材料的特性决定了系统中的压力不可能随负载无限增大。

如果大活塞的面积 A_2 比小活塞的面积 A_1 大得多，即 $A_2 \gg A_1$，则由式(2.2)可以看出，作用在手柄上一个很小的力 F_1，就可以在大活塞上产生一个很大的力 F_2，这就是液压千斤顶的工作原理。

2. 运动的传递

如果不考虑液体的可压缩性、系统的泄漏和液压缸及管路的受压变形等因素，小液压缸排出的液体体积，必然等于进入大液压缸的液体体积。设大、小液压缸的活塞位移分别为 S_2 和 S_1，则有

$$A_1 S_1 = A_2 S_2 \tag{2.3}$$

等式两边同除以运动时间 t，即体积除以时间，得到平均体积流量

$$Q_1 = \frac{A_1 S_1}{t} \tag{2.4}$$

$$Q_2 = \frac{A_2 S_2}{t} \tag{2.5}$$

而位移 S 除以时间 t 就是速度 v，即 $v = \frac{S}{t}$ 以上两式即为

$$Q_1 = \frac{A_1 S_1}{t} = A_1 v_1 \tag{2.6}$$

$$Q_2 = \frac{A_2 S_2}{t} = A_2 v_2 \tag{2.7}$$

由于平均体积流量 $Q_1 = Q_2$，故

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \tag{2.8}$$

由式(2.8)可以看出，液压与气压驱动是靠密闭的工作容积变化相等的原则实现运动传递的。调节小液压缸的输出流量 Q_1 就可以调节大活塞的运动速度，即移动重物的速度 v_2，这是液压与气压驱动工作原理的第二个特征，即大活塞的运动速度取决于输入流量的大小，而与外载荷无关。

3. 液压功率

液压千斤顶的输出功率 P_2 为

$$P_2 = F_2 v_2 = p_2 A_2 v_2 = p_2 Q_2 \tag{2.9}$$

式(2.9)表明，液压力做功，其功率的大小等于压力乘以流量。这个结论具有普遍意义，对于液压泵、液压马达、液压阀门等液压元件，凡涉及液压功率的计算时，均按此公式。

2.1.3 液压驱动系统的组成

工程中实际应用的液压驱动系统是各式各样的，为了更好地了解液压驱动系统的组成，下面以某车床刀架液压驱动系统为例予以说明。

在车削工件过程中，要求刀架慢速进刀，确保被加工零件的质量要求，切削完成后，要求刀架快速返回，以缩短辅助时间，提高劳动生产率。

图 2.4 所示为车床刀架液压系统图。在切削时，电磁铁通电，换向阀 6 处于图(a)位置，液压泵 3 从油箱 1 内吸油，通过过滤器 2 过滤，并由泵体打出，通过换向阀 6 进入液压缸 9 的左腔(大腔，无活塞杆)，推动活塞 10 右移，从而带动刀架 11 慢速进给。此时，液压缸右腔(小腔，有活塞杆)的油经过节流阀 8 和换向阀 6 流回油箱(见图(a))。完成切削后，电磁铁断电，换向阀 6 的阀芯在弹簧力的作用下复位，处于图(b)位置，此时，液压泵 3 打出的油通过换向阀 6 和单向阀 7 进入液压缸 9 的右腔(小腔，有活塞杆)。由于小腔的面积小，单位时间内

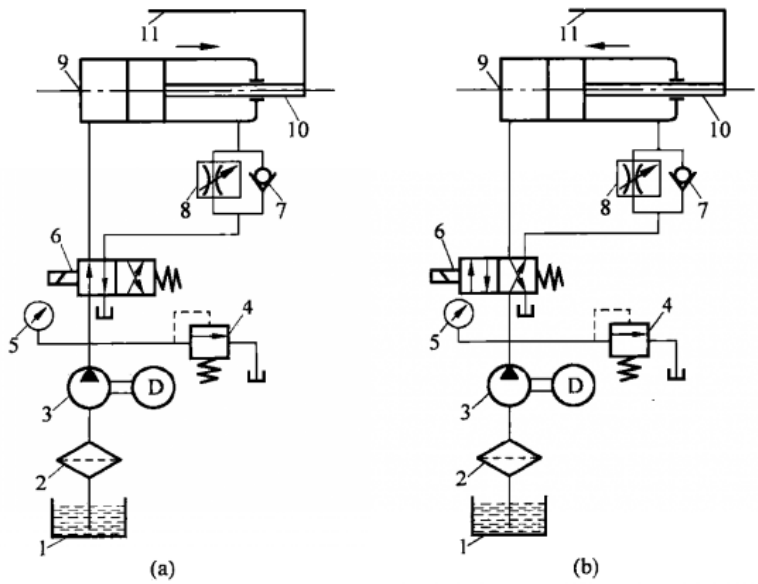


图 2.4 车床刀架液压系统图

1—油箱；2—过滤器；3—液压泵(带电动机)；4—溢流阀；5—压力表；6—换向阀；7—单向阀；8—节流阀；9—液压缸；10—活塞；11—刀架(工作台)

进入同样多的液压油，活塞移动的速度就快，从而推动活塞 10 向左移动，带动刀架 11 快速返回，完成一个循环。液压缸 9 大腔的油经过换向阀 6 直接回油箱（见图(b)）。在刀架进给过程中，如果改变节流阀 8 的通流面积，可以改变活塞 10 的移动速度，也即改变了刀架的进给速度。此时进入液压缸大腔的流量减少，多余的流量经过溢流阀 4 回到油箱。在刀具切削加工的过程中，存在着负载阻力，只有当活塞的推力大于负载阻力时，才能完成切削工作。溢流阀除了起调节流量的作用外，主要用来调整液压系统的工作压力，满足液压缸活塞所需要的压力。此外，它还起到过载保护的作用，当负载突然增大时，液压系统的压力不会随之增大，液压泵的出口压力始终保持溢流阀调定的压力，从而保证液压泵和电动机不会过载损坏。

从上面的例子可以看出，液压系统主要由以下 5 部分组成。

1. 动力元件

动力元件的作用是完成机械能至液压能的转换，最常见的形式就是液压泵，它给液压系统提供压力油。液压泵作为液压系统的动力元件，将原动机（电动机或柴油机等）输入的机械能转化为液体的压力能输出。液压泵性能的好坏直接影响到液压系统工作的稳定性和可靠性，是液压驱动系统的重要组成部分。

图 2.5 所示为单柱塞液压泵，它由曲柄 1、连杆 2、柱塞 3、柱塞缸 4 等零件组成，柱塞与柱塞缸之间构成密闭的容腔。当曲柄 1 在原动机的驱动下旋转时，通过连杆 2 的带动，使柱塞 3 在柱塞缸 4 内作直线往复运动。柱塞向右运动时，密闭容腔逐渐增大，形成真空，这时油箱 7 中的油液在大气压的作用下，顶开单向阀 6 进入密闭容腔内。这就是液压泵的吸油过程。当柱塞向左运动时，密闭容腔逐渐减小，其内的油液受压，压力逐渐升高，顶开单向阀 5 向系统提供具有一定压力的油液。这是液压泵的排油过程。曲柄转一圈，柱塞往复运动一个周期，液压泵就完成吸、排油各一次。如果曲柄连续旋转，柱塞不断地往复运动，使得油箱中的液压油不断地经过单向阀 6 进入泵腔，而后被泵出，又经过单向阀 5 排到液压系统中去。工程中实际应用的液压泵在结构上比这复杂得多，功能上也比较完善，尽管如此，我们仍可以通过上述简单的例子，归纳出液压泵工作的两个必要条件：

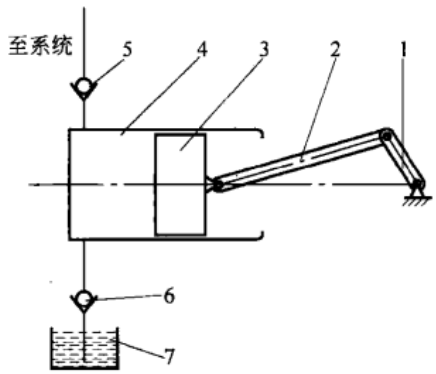


图 2.5 单柱塞液压泵的工作原理

1—曲柄；2—连杆；3—柱塞；4—柱塞缸；5—单向阀（排油）；6—单向阀（吸油）；7—油箱

① 必须有一个容积可以变化的工作容腔。

② 必须有一个与密封工作容腔变化相协调的配油机构。容腔变大时吸油，变小时排油，吸油口和压油口不能相通。

常用的液压泵有齿轮泵、叶片泵和柱塞泵。设计液压驱动系统时，应根据所要求的工作情况，合理地选择液压泵。在一般轻载、小功率的机械设备中，可用齿轮泵或双作用式叶片泵；在负载大、功率大的机械设备中，可选用柱塞泵；精度较高的机械设备（如磨床），应选用螺杆泵或双作用式叶片泵；负载较大并且有快速或慢速行程的机械设备（如组合机床），可选用限压式变量叶片泵。齿轮泵的抗污染能力最好，叶片泵的噪声最小，柱塞泵的功率最大。液压驱动系统常用液压泵的性能比较见表 2.2。

表 2.2 液压驱动系统常用液压泵的性能比较

性　能	外啮合齿轮泵	双作用叶片泵	限压式变量叶片泵	径向柱塞泵	轴向柱塞泵	螺杆泵
输出压力	低压、中高压	中压、中高压	中压、中高压	高压	高压	低压
流量调节	不能	不能	能	能	能	不能
效率	低	较高	较高	高	高	较高
输出流量脉动	很大	很小	一般	一般	一般	最小
自吸特性	好	较差	较差	差	差	好
对油污染敏感性	不敏感	较敏感	较敏感	很敏感	很敏感	不敏感
噪声	大	小	较大	大	大	最小

图 2.6 所示为液压泵的图形符号。

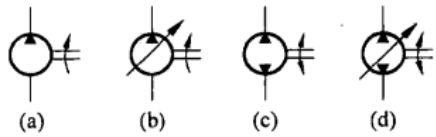


图 2.6 液压泵的图形符号

(a) 单向定量液压泵；(b) 单向变量液压泵；(c) 双向定量液压泵；(d) 双向变量液压泵

图 2.7 所示为常用的液压泵的工作原理图。

2. 执行元件

液压驱动系统中执行元件的作用是将液压压力能转换成机械能，运动形式有直线往复运动或旋转(摆动)运动。其输出为力和速度或转矩和转速。最常见的形式有作直线往复运动或摆动的液压缸和作回转运动的液压马达。

(1) 液压缸

液压缸是利用油液的压力能来实现直线运动的执行元件，它的种类繁多，通常根据其结构特点，分为活塞式、柱塞式和伸缩式等。图 2.8 所示为缸筒固定式双杆活塞缸，油的进、出口位于缸筒两端，因两端活塞杆的直径相等，所以左右两腔的面积相等。当分别向两腔输入相同的压力和流量的液压油时，两个方向的力和速度是相等的。

图 2.9 所示为缸筒固定式单杆活塞缸，活塞缸的活塞只有一端带活塞杆，因两腔的有效工作面积不相等，因此，在分别向两腔输入相同压力和流量的液压油时，两个方向运动的力和速度是不相等的。活塞式液压缸的活塞与缸筒内孔有配合的要求，加工精度要求较高，特别是行程较长时，加工非常困难。采用柱塞式液压缸则可以避免这个困难。图 2.10 所示为柱塞式液压缸，因柱塞式液压缸的柱塞与缸筒内孔没有配合要求，缸筒内孔不需要精加工，只是柱塞与缸盖上的导向套有配合要求，所以特别适用于行程较长的场合。为了减轻柱塞的质量，减少柱塞的弯曲变形，常将柱塞做成空心的，以提高柱塞的刚性。该柱塞缸只能单方向运动，反向退回时，则需靠外力(如弹簧力或重力等)。当要求活塞往复运动时，也可用两个柱塞缸分别完成两个方向的运动。

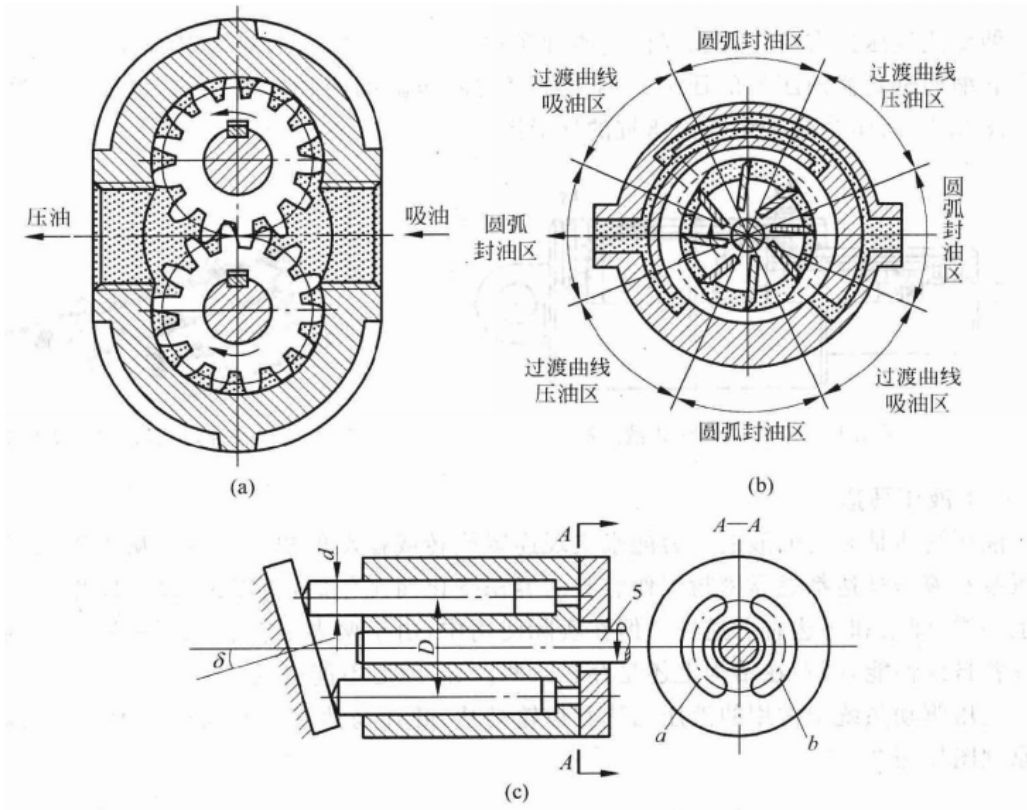


图 2.7 常用的液压泵的工作原理图

(a) 齿轮泵；(b) 双作用叶片泵；(c) 直轴式轴向柱塞泵

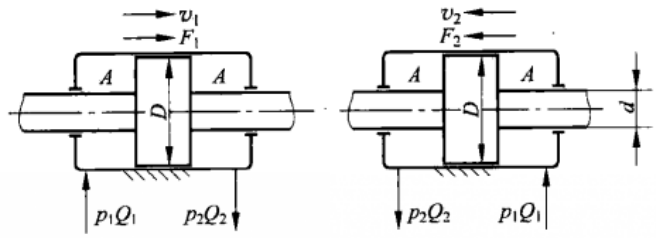


图 2.8 缸筒固定式双杆活塞缸

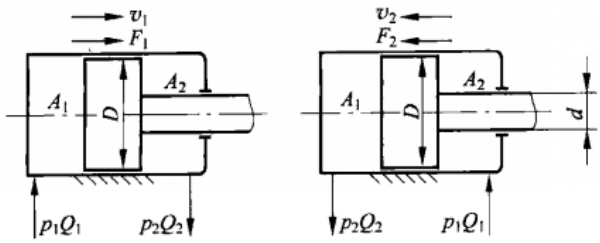


图 2.9 缸筒固定式单杆活塞缸

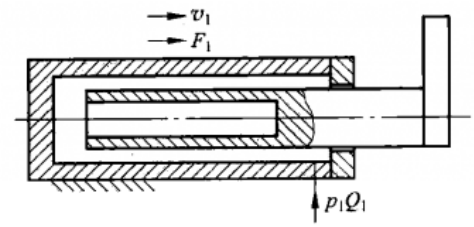


图 2.10 柱塞式液压缸

伸缩式液压缸由两个或多个活塞套装而成，前一级活塞缸的活塞杆是后一级活塞缸的缸筒，结构与拉杆天线类似，伸出时可以获得很长的工作行程，缩回时可以保持很短的结构

尺寸。

伸缩式液压缸有单作用和双作用两种形式。图 2.11 所示为双作用伸缩式液压缸，它的伸出和缩回都是靠液压油的压力。而单作用式液压缸的回程则要靠外力（如重力等）来完成。图 2.12 所示为各种形式液压缸的外形图。

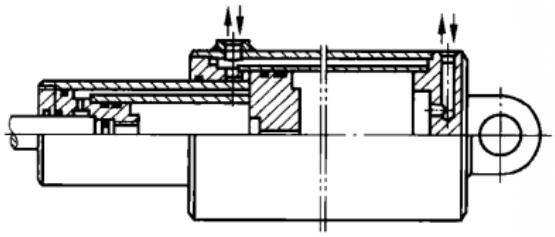


图 2.11　双作用伸缩式液压缸

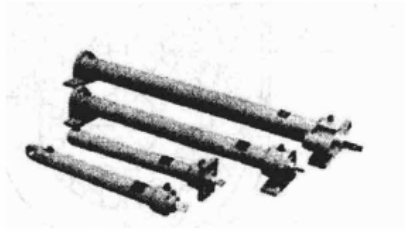


图 2.12　各种形式液压缸的外形图

（2）液压马达

液压马达是利用油液的压力能来实现连续旋转或摆动的执行元件。从工作原理上讲，液压泵和液压马达都是靠密封工作容腔的容积变化而工作的，所以说，泵可以作马达用，反之也一样，即泵和马达有可逆性。但在实际使用中，由于两者工作状态不一样，为了更好地发挥各自的性能，两者在结构上还是存在某些差异，使之不能通用。

液压驱动系统中常用的液压马达有齿轮马达、叶片马达和柱塞马达三大类。它们的工作原理图见图 2.13。

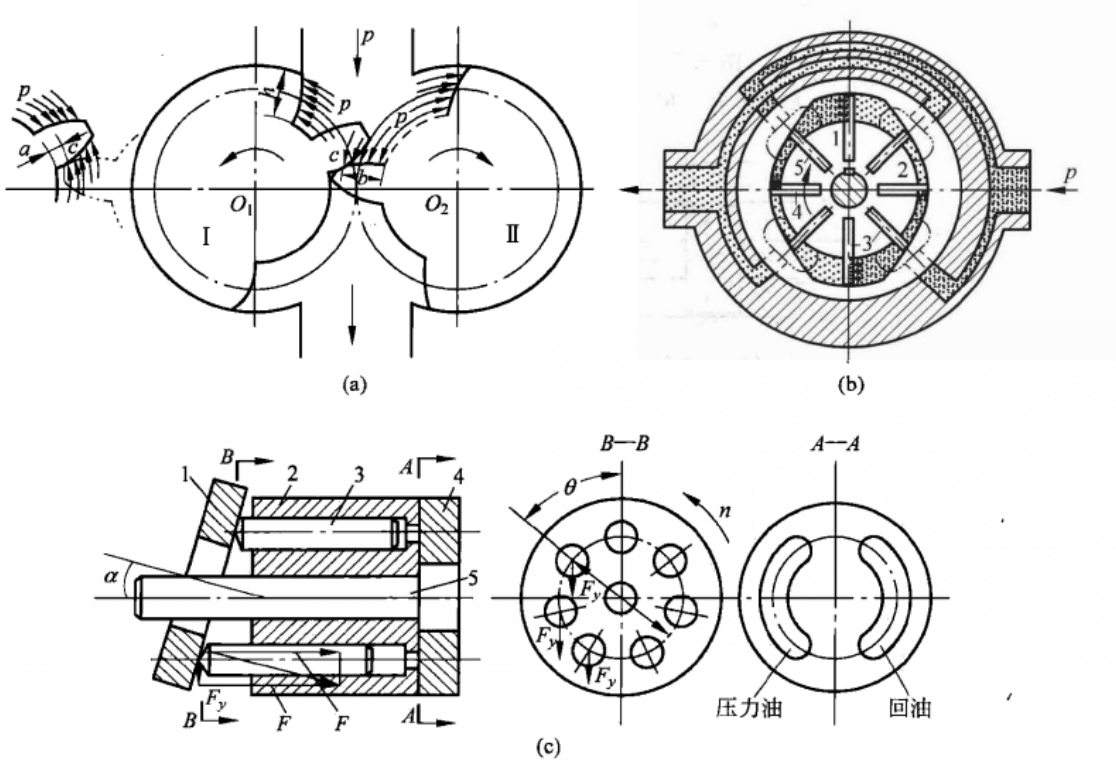


图 2.13　常用的液压马达的工作原理图

（a）外啮合齿轮液压马达；（b）双作用式叶片马达；（c）轴向柱塞马达

3. 控制元件

控制元件的作用是控制液体的流向、流量和压力，如溢流阀、节流阀、单向阀和换向阀等统称为液压阀。液压阀在液压系统中用来控制液流的压力、流量和方向，保证执行元件按照负载的需求进行工作。液压阀的品种繁多，表 2.3 对液压阀进行了大致分类。

表 2.3 液压阀的分类

分类方法	种　类	具体名称或含义
按功能分类	压力控制阀	溢流阀、顺序阀、卸荷阀、平衡阀、减压阀、比例压力控制阀、缓冲阀、限压切断阀、压力继电器等
	流量控制阀	节流阀、单向节流阀、调速阀、分流集流阀、排气节流阀、比例流量控制阀等
	方向控制阀	单向阀、液控单向阀、换向阀、行程减速阀、梭阀、脉冲阀、比例方向控制阀等
按结构分类	滑阀	圆柱滑阀、平板滑阀、旋转阀
	座阀	锥阀、球阀、喷嘴挡板阀
按操纵方法分类	手动阀	手把及手轮、踏板、杠杆
	机动阀	挡块及碰块、弹簧、液压、气动
	电动阀	电磁铁控制、伺服电动机和步进电动机控制

压力控制阀中溢流阀的结构及图形符号见图 2.14。流量控制阀中节流阀的结构及图形符号见图 2.15。方向控制阀中单向阀和换向阀的结构及图形符号见图 2.16 和图 2.17。各种形式液压阀的外形图见图 2.18。

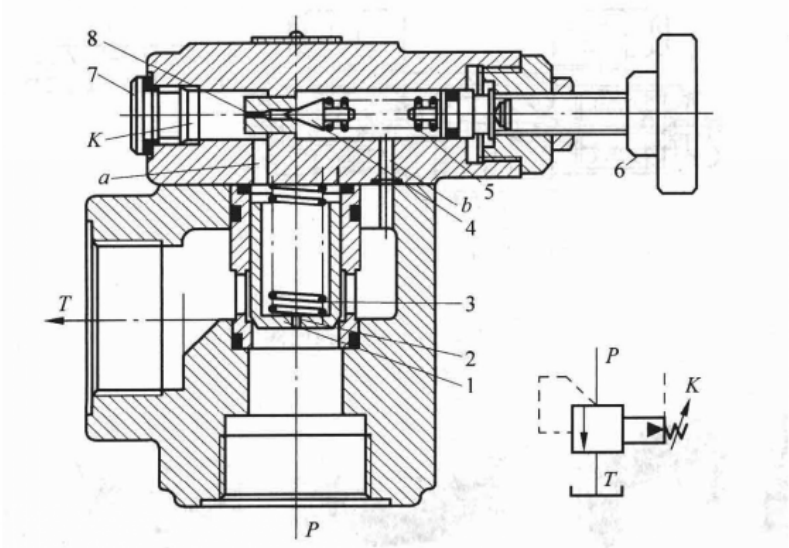


图 2.14 二级同芯先导式溢流阀

1—主阀芯；2、8—阻尼孔；3—主阀弹簧；4—先导阀芯；5—先导阀弹簧；6—调压手轮；7—螺堵

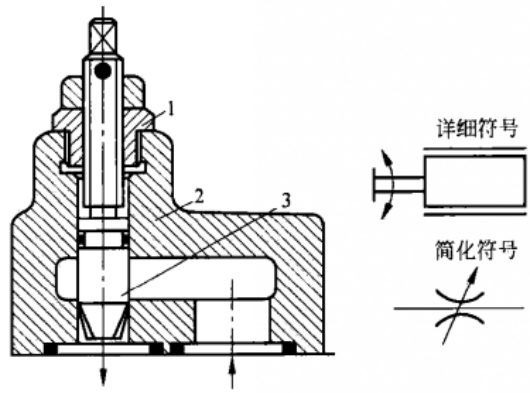


图 2.15 节流阀

1—螺母；2—阀体；3—阀芯

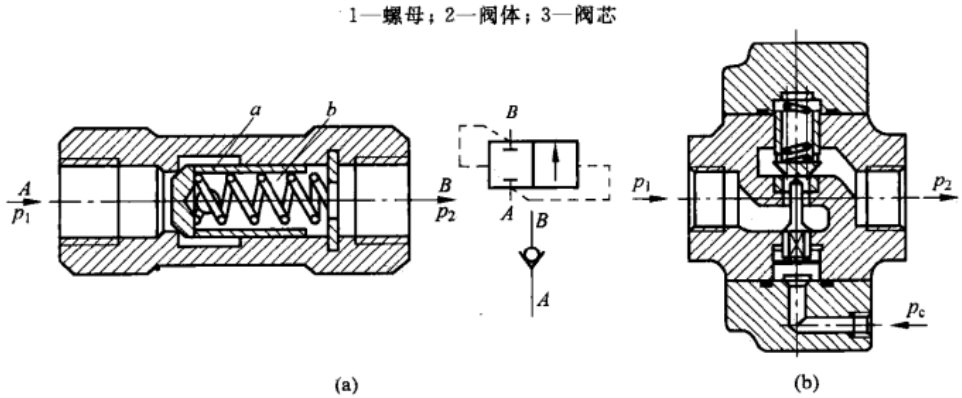


图 2.16 单向阀

(a) 普通单向阀；(b) 液控单向阀

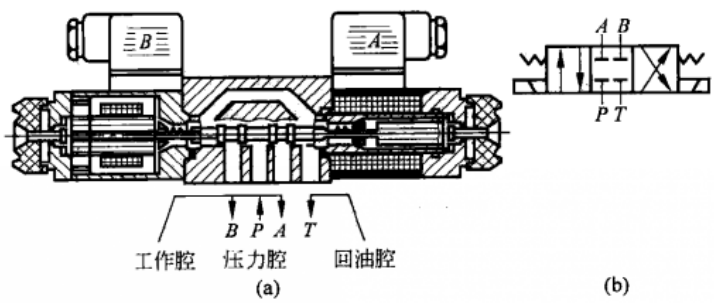


图 2.17 电液换向阀

(a) 结构；(b) 详细图形符号

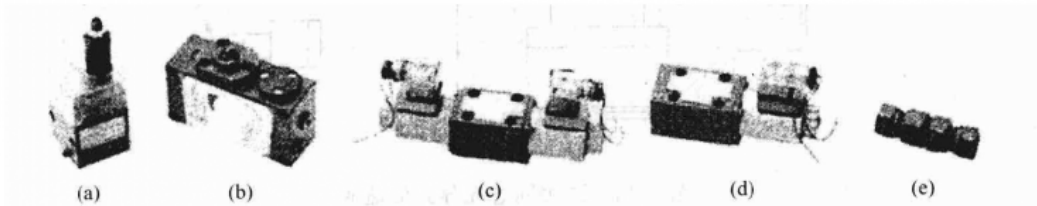


图 2.18 几种液压阀的外形图

(a) 压力继电器(EYX63-6)；(b) 行程调速阀(E22XQ-25)；(c) 电磁换向阀(E35DO-25)；(d) 电磁换向阀(E22DO-25)；(e) 单向阀(EDG-25)

4. 辅助元件

辅助元件用于对工作介质的储存、过滤、传输以及对液压参量进行测量和显示等，也称为液压附件，如油箱、冷却器、加热器、过滤器、管件、密封件、蓄能器、压力表装置等，是液压驱动系统中必不可少的重要组成部分，见图 2.19～图 2.22。

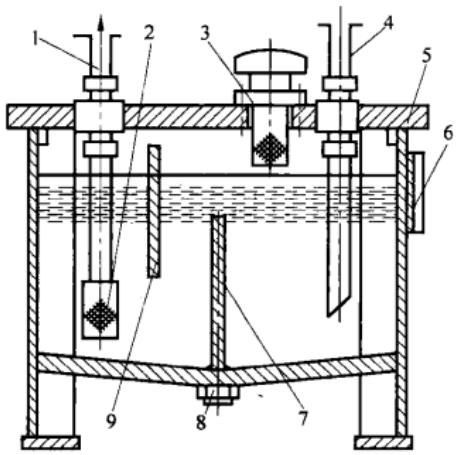


图 2.19 油箱

1—吸油管；2—网式过滤器；3—空气过滤器；4—回油管；5—箱盖；6—油面指示器；7、9—隔板；8—放油塞

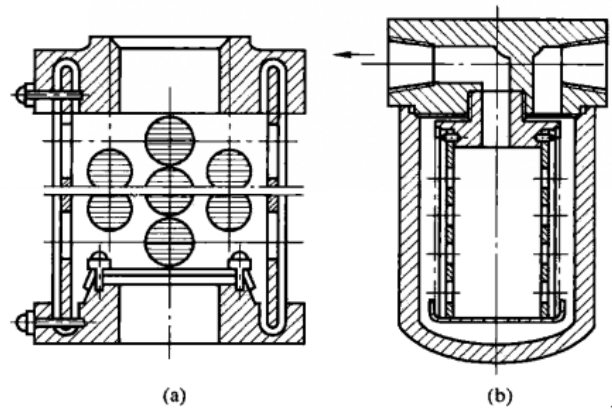


图 2.20 表面型过滤器

(a) 网式过滤器；(b) 线隙式过滤器

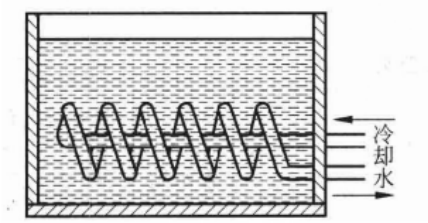


图 2.21 蛇形管冷却器

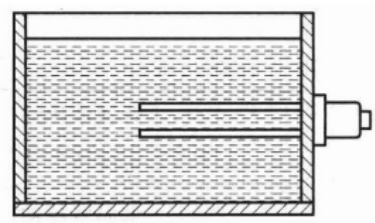


图 2.22 加热器

密封件在液压驱动装置中起着非常重要的作用。液压驱动是以液体为传动介质，依靠密封容积变化来传递力和速度的，而密封装置则用来防止液压系统油液的泄漏，以及外界灰尘和异物的侵入，保持系统内必要的压力。起密封作用的元件，称为密封件，密封装置的性能直接影响液压系统的工作性能和效率，是衡量液压系统性能的一个重要指标。密封件的材料常用合成橡胶（如丁腈橡胶、聚氨酯橡胶、氟橡胶、硅橡胶、丁基橡胶等）及合成树脂（如聚四氟乙烯、聚酰胺、尼龙、聚甲醛等）。液压系统中密封装置种类很多，常用的密封种类和形式见表 2.4。

以上四大类元件之间的相互关系，可用方框图表示，见图 2.23。为了便于液压与气压驱动系统图的绘制和各种符号的统一，GB/T 786.1—1993《液压与气压驱动常用图形符号》中，规定了一整套液压与气压驱动系统的职能符号，具体内容可参考有关设计手册。

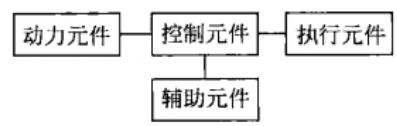


图 2.23 液压与气压系统组成方框图

表 2.4 常用的密封种类和形式

分类		主要密封件	分类		主要密封件
静密封	非金属静密封	O形橡胶密封圈	动密封	自封式压紧型密封	O形橡胶密封圈
		橡胶垫片			同轴密封圈
		聚四氟乙烯生料带			异形密封圈
	橡胶-金属复合静密封	组合密封垫圈		自封式自紧型密封（唇形密封）	Y形密封圈
	金属静密封	金属垫圈			V形密封圈
		空心金属O形密封圈			组合式U形密封圈
	液压密封	密封胶			带支撑环组合双向密封圈
	非接触式密封	间隙		活塞环	金属活塞环
		阻尼		旋转轴油封	油封
		迷宫		液压缸异向支承件	导向支承环
		其他		液压缸防尘圈	防尘圈

5. 工作介质

工作介质即液压介质，存在于上述四种元件之中，起着转换、传递、控制能量的重要作用，同时还起着润滑和冷却的作用，其力学性质对液压系统的影响很大。对于液压介质，目前国内外常采用综合分类的方法，将其分为两大类，即矿油型液压油和抗燃型液压液，详见表 2.5。

表 2.5 液压介质分类

液压介质	矿油型液压油	普通液压油	液压介质	抗燃型液压液	含水型	水包油乳化液
		抗磨液压油				油包水乳化液
		低温液压油				高水基液压液
		低油抗磨液压油			合成型	磷酸酯液压液
		液压导轨两用油				脂肪酸脂液压液
		专用液压油				

2.1.4 液压驱动系统的主要故障形式

现代液压设备若由于液压系统的故障而停工，将会造成巨大的经济损失。液压系统的故障，在液压设备不同的运行阶段，有着不同的特征。

(1) 液压设备调试阶段的故障

这一阶段的故障率较高，其特征是设计、制造、安装等质量问题交织在一起，除机械、电气出现问题外，液压驱动系统经常发生的故障如下：

① 外泄漏严重。

② 执行元件运动速度不稳定。

③ 液压阀运动不灵活或卡死，造成控制失灵，导致执行元件动作偏差过大或失误。

④ 压力控制阀的阻尼孔堵塞，造成系统压力不稳定。

⑤ 安装管路接错，使系统运行错乱。

⑥ 设计不完善、液压元件选择不当，造成系统发热、执行元件运动精度过低等故障。

(2) 液压设备运行初期的故障

液压设备经过调试阶段后，便进入正常的生产运行阶段。此时，液压系统的故障特征如下：

① 接头因振动而松脱。

② 密封件质量差，由于振动而松动或装配不当而损伤，造成泄漏。

③ 管道或液压元件内的毛刺、型砂、碎屑等污物在油流的冲击下脱落，堵塞阻尼孔和滤油器，造成压力和速度的不稳定。

④ 由于外载大和散热条件差，使油液温度过高，引起泄漏，使系统压力、速度产生较大波动。

(3) 液压设备运行中期的故障

液压设备运行到中期，故障率最低，这个阶段，液压系统运行状态最佳，但特别要注意控制油液的污染。

(4) 液压设备运行后期的故障

液压设备运行到后期，液压元件因工作频率和负载的差异，易损件开始超量磨损，泄漏增加，效率降低，这一阶段故障率最高。针对这一情况，要对液压系统和元件进行全面的检查，对已失效的元件要进行及时的修理和更换，以防止液压设备因液压系统的故障而停机，影响正常生产。

(5) 突发性故障

突发性故障的特征就是突发性，它没有事先的征兆，故障发生的区域和产生的原因较为明显，如发生碰撞、元件弹簧突然折断、管道破裂、异物堵塞流道等。突发性故障往往与液压元件安装不当、维护不良有关。有时由于操作错误也会发生破坏性故障。

(6) 液压驱动系统故障的影响

液压系统出现故障，除了直接影响液压设备的正常工作，造成停产、经济损失巨大外，还会对环境造成一定的污染。污染主要表现在两个方面：一是泄漏造成的污染，二是噪声造成的污染。

① 泄漏造成的污染。液压系统由于密封件失灵造成的液压油的泄漏，以及突发性的管道破裂，都会给环境造成污染，当高压油喷射时，还可能造成人员的伤害。当泄漏的液压油未经过处理就随工厂的废水排出厂外后，还会对周围的水系和土壤造成污染，引起一系列的矛盾。

② 噪声造成的污染。声波是一种波动现象，具有频率和振幅两个特征量。人们听到的声音，是由各种频率的纯音组成的。当频率和振幅的分布有规律时，听起来令人愉快悦耳。噪声则是由许多杂乱的声波混合起来的，听起来令人烦躁和不愉快，过大的噪声会给人带来不适的感觉，在精神上和健康上产生不良的影响。噪声的物理量度通常用声压及声压级。正常人耳刚刚能听到的声压(称为听阈声压)是 2×10^{-5} Pa，它只有一个大气压的 50 亿分之一，普通房间的声压是 0.1 Pa，喧哗声压是 0.8 Pa 左右，当声压达到 20 Pa 时，人耳感觉疼痛，称为痛阈声压。规定以听阈声压 P_0 为参考声压，将任一声压与之比值的常用对数的

20 倍来表示声压的大小，称为声压级，即

$$L_P = 20\lg\frac{P}{P_0} \tag{2.10}$$

式中，P 为声压；P_0 为参考声压，$P_0 = 2\times10^{-5}$ Pa；L_P 的单位为分贝(dB)。一些噪声声源环境的声压与声压级见表 2.6。

表 2.6 一些噪声声源环境的声压与声压级

噪声声源环境	声压/Pa	声压级/dB	噪声声源环境	声压/Pa	声压级/dB
喷气式飞机喷口附近	630	150	繁华街道	0.063	70
喷气式飞机附近	200	140	普通谈话	0.02	60
铆钉机附近	63	130	微电视机附近	0.0063	50
大型球磨机附近	20	120	安静房间	0.002	40
鼓风机风口	6.3	110	轻声耳语	0.000 63	30
织布机附近	2	100	树叶沙沙声	0.0002	20
地铁	0.63	90	农村静夜	0.000 063	10
公共汽车内	0.2	80	听阈	0.000 02	0

2.1.5 气压驱动系统简介

气压驱动在各行各业中的应用很广泛。为了更好地了解气压驱动系统的组成，下面以公共汽车和无轨电车的开、关门气压驱动装置为例给以说明。

图 2.24 是公共汽车和无轨电车的开、关门气压驱动装置原理图。该气动系统是由气源 1、手控二位三通换向阀 2、电磁控制二位三通换向阀 3、节流阀 4 以及差动汽缸 5 组成，差动汽缸通过铰链与车门 6 连接。图示为关门状态。当汽车靠站，车门需要打开时，按动开门按

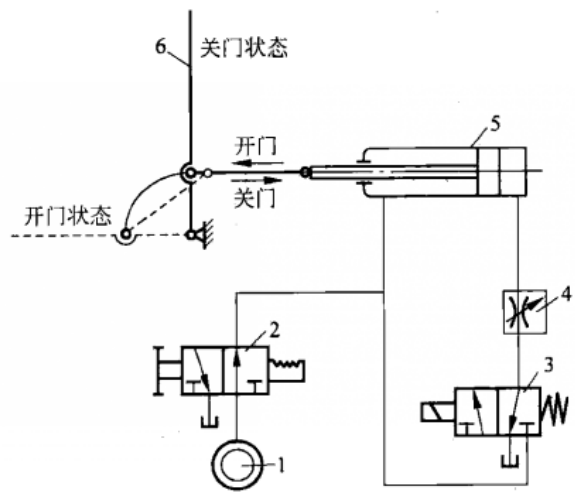


图 2.24 公共汽车和无轨电车的开、关门气压驱动装置

1—气源；2—手控二位三通换向阀；3—电磁控制二位三通换向阀；4—节流阀；5—差动汽缸；6—门

钮，电磁控制换向阀 3 得电，将换至左位，气源的压缩空气经手控换向阀 2、电磁控制换向阀 3 和节流阀 4，进入差动汽缸 5 的左右两腔。由于左右两侧的面积不同，形成的力差使活塞向左移动，带动连杆将门打开。

当要关门时，只要再次按动按钮，电磁控制换向阀 3 断电，在弹簧力的作用下，电磁控制换向阀复位（图示位置），此时气源的压缩空气只进入汽缸的左腔，推动活塞右移，活塞杆收回，车门关闭，汽缸大腔内的空气经节流阀 4 和电磁控制换向阀 3 直接排入大气。节流阀 4 的作用是改变关门的速度，压缩空气可由空压机或高压气罐提供。当手控二位三通换向阀 2 换向时，差动汽缸 5 的左、右两腔皆与大气连通，门处于自由状态，用手推到什么位置，它就保持在什么位置。通常汽车在检修的时候，才处于这种状态。

从上面的例子同样可以看出，气压驱动系统也是主要由 5 部分组成。

（1）动力元件

动力元件的作用是完成机械能至气压能的转换，最常见的形式就是气源装置，它给气压系统提供压缩空气。

（2）执行元件

执行元件的作用是将气体压力能转换成机械能，最常见的形式是各种汽缸和气动马达。

（3）控制元件

控制元件的作用是控制流体的流向、流量和压力，如溢流阀、节流阀、单向阀和换向阀等。

（4）辅助元件

气压驱动的辅助元件像液压驱动一样，用于对工作介质的储存、过滤、传输以及对压力参量进行测量和显示，也称作气动附件，如储气罐、冷却器、油水分离器、干燥器、过滤器、管件、密封件、蓄能器和消音器等。除此之外，气压驱动系统中常装有一些完成逻辑功能的逻辑元件。

（5）工作介质

工作介质即压缩空气，起传递动力和能量的作用。

由上述组成部分来看，气压驱动系统与液压驱动系统有许多相似的地方，在此不再赘述。图 2.25 是轿车生产线上由气动系统控制的机器人。



图 2.25 轿车生产线上的气动机器人

2.2 机电传动

2.2.1 概述

1. 机电系统的组成

在现代工业中，为了实现生产过程自动化的要求，机电传动不仅包括拖动生产机械的电动机，而且还包括控制电动机的一整套控制系统，也就是说，现代机电传动是和各种控制元

件组成的自动控制系统联系在一起的。机电系统一般可分为3大部分，如图2.26所示。

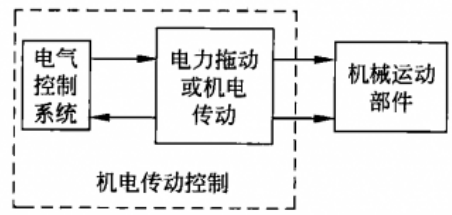


图2.26 机电系统的组成

2. 机电传动控制的任务

① 将电能转换为机械能；

② 实现生产机械的启动、停止以及速度的调节；

③ 完成各种生产工艺过程的要求；

④ 保证生产过程的正常进行。

3. 机电传动控制的目的

从现代化生产的要求来说，机电传动控制的目的可分广义和狭义两种。

从广义上讲，机电传动控制的目的就是要使生产设备、生产线、车间乃至整个工厂都实现自动化。

从狭义上讲，则专指控制电动机驱动生产机械，实现生产产品数量的增加（生产效率）、质量的提高（加工精度）、生产成本的降低、工人劳动条件的改善以及能量的合理利用等。

随着生产工艺的发展，对机电传动控制系统的要求愈来愈高。例如：

① 一些精密机床要求加工精度百分之几毫米，甚至几微米。

② 重型镗床为保证加工精度和粗糙度，要求在极慢的稳速下进给，即要求系统有很宽的调速范围。

③ 轧钢车间的可逆式轧机及其辅助机械，操作频繁，要求在不到1 s的时间内就得完成从正转到反转的过程，即要求系统能迅速启动、制动和反向。

④ 对于电梯和提升机，则要求启动和制动平稳，并能准确地停止在给定的位置上。

⑤ 对于冷、热连轧机以及造纸机的各机架或分部，则要求各机架或各分部的转速保持一定的比例关系进行协调运转。

⑥ 为了提高效率，由数台或十几台设备组成的生产自动线，要求统一控制或管理。

诸如此类的要求，都要靠电动机及其控制系统来实现。

4. 机电传动控制的发展

机电传动及其控制系统总是随着社会生产的发展而发展的。机电传动控制的发展可从机电传动和控制系统两方面来讨论。

（1）机电传动的发展

就机电传动而言，它的发展大体经历了成组拖动、单电动机拖动和多电动机拖动3个阶段，如表2.7所示。

多电动机拖动方式为生产机械的自动化提供了有利条件，所以，现代机电传动基本采用这种拖动方式。

（2）机电传动控制系统的发展

控制系统的发展伴随控制器件的发展而发展。随着功率器件、放大器件的不断更新，机电传动控制系统的发展日新月异，它主要经历了4个阶段，如表2.8所示。

表 2.7 电力拖动的发展阶段

名 称	组 成	特 点
成组拖动	一台电动机拖动一根天轴(或地轴),然后再由天轴(或地轴)通过皮带轮和皮带分别拖动多台不同的生产机械	生产效率低、劳动条件差、一旦电动机出现故障,将造成成组的生产机械停车
单电动机拖动	一台电动机拖动一台生产机械的各个运动部件	运动部件较多时,其传动机构仍十分复杂
多电动机拖动	一台生产机械的各个运动部件分别由不同的电动机来拖动	机械传动结构,而且控制灵活

表 2.8 控制系统的发展阶段

名 称	年 代	特 征	特 点
继电器-接触器控制	20 世纪初	借助于简单的接触器与继电器实现对控制对象的启动、停车以及有级调速等控制	控制速度慢、控制精度差
电动机放大机控制	20 世纪 30 年代	控制系统从断续控制发展到连续控制。连续控制系统可随时检查控制对象的工作状态,并根据输出量与给定量的偏差对控制对象进行自动调整	快速性及控制精度都大大超过了最初的断续控制,并简化了控制系统,减少了电路中的触点,提高了可靠性,使生产效率大为提高
磁放大器控制和大功率可控制水银整流器控制	20 世纪 40～50 年代	晶闸管控制取代了水银整流器控制,后又出现了功率晶体管控制	由于晶体管、晶闸管具有效率高、控制特性好、反应快、寿命长、可靠性高、维护容易、体积小、重量轻等优点,它的出现为机电传动自动控制系统开辟了新纪元
计算机数字控制	20 世纪 70 年代初	随着数控技术的发展、计算机的应用,特别是微型计算机的出现和应用,又使控制系统发展到一个新阶段——采样控制	客观上完全等效于连续控制,它把晶闸管技术与微电子技术、计算机技术紧密结合在一起,使晶体管与晶闸管控制具有强大的生命力

2.2.2 电动机

1. 直流电动机

在电动机的发展史上,直流电动机发明得较早。迄今为止,许多工业领域里仍在使用直流电动机,这是由于直流电动机具有以下突出的优点:

① 调速范围广,易于平滑调速。

② 启动、制动和过载转矩大。

③ 控制技术简单成熟,可靠性较高。

直流电动机多用于对转速要求稳定,调速范围要求较宽的场合。

直流电动机的缺点主要是换向问题。它限制了直流电动机的极限容量,又增加了维护的工作量。为了克服这个缺点,许多人在研究交流电动机的调速,也取得了一定的效果,在某些调速场合可以代替直流电动机,这是发展的方向。但是,反过来由于利用了可控硅整流电源,使直流电动机的应用增加了一个有利因素。目前使用直流电动机的场合也很多。

(1) 直流电动机的铭牌数据

直流电动机的额定数据有以下内容：

① 额定功率 P_N(kW)，指转轴上输出的机械功率；

② 额定电压 U_N(V)；

③ 额定电流 I_N(A)；

④ 额定转速 n_N(r/min)；

⑤ 励磁方式和额定励磁电流 I_{fN}(A)；

⑥ 额定励磁电压 U_{fN}(V)。

直流电动机的额定功率 P_N、额定转速 n_N 与额定转矩 T_N 的关系为

$$T_N = 9.55\frac{P_N}{n_N} \tag{2.11}$$

式中，功率的单位是 W，转速的单位是 r/min，转矩的单位是 N·m。

直流电动机运行时，若各个物理量都与它的额定值一样，就称为额定运行状态。在额定运行状态下工作，电动机能可靠地运行，并具有良好的性能。实际运行中，电动机不可能总是运行在额定状态。如果通过电动机的电流小于额定电流，称为欠载运行；如果电流超过额定电流，称为过载运行。长期过载有可能因过热而损坏电动机；长期欠载，运行效率不高，浪费能量。为此，选择电动机时，应根据负载的要求，尽量让电动机工作在额定状态。

(2) 直流电动机分类

根据励磁方式的不同，直流电动机有下列几种类型：

① 他励直流电动机的励磁电压由其他直流电源单独供给，接线如图 2.27(a)所示。

② 串励直流电动机的励磁绕组与电枢回路串联，电枢电流也是励磁电流，接线如图 2.27(b)所示。

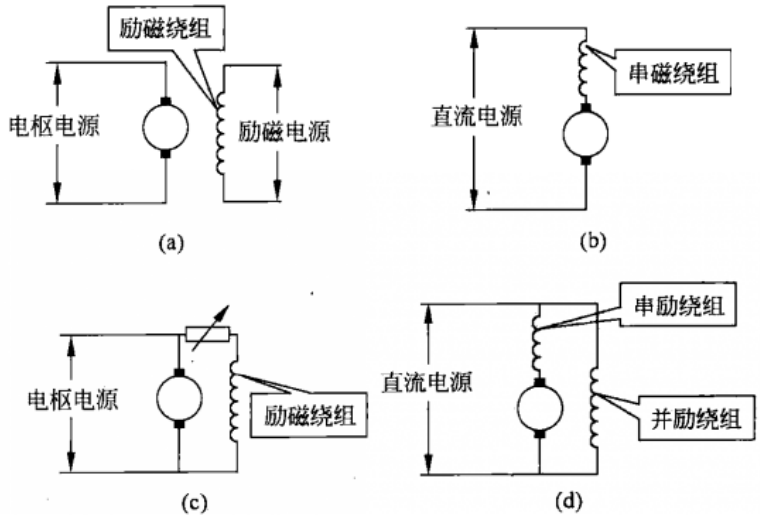


图 2.27 直流电动机励磁绕组的接线方式

(a) 他励接线方式；(b) 串励接线方式；(c) 并励接线方式；(d) 复励接线方式

③ 并励直流电动机的励磁绕组与电动机电枢的两端并联。作为并励发电动机来说，是电动机本身发出来的端电压供给励磁电流；作为并励电动机来说，励磁绕组与电枢共用同一

电源，与他励直流电动机没有本质区别。并励直流电动机的接线如图 2.27(c)所示。

④ 复励直流电动机的励磁绕组分为两部分，一部分与电枢回路串联，一部分与电枢回路并联。复励直流电动机接线如图 2.27(d)所示，可以串励励磁绕组与电枢串联后再与并励励磁绕组并联(先串后并)，也可以并励励磁绕组与电枢回路并联后再共同与串励励磁绕组串联(先并后串)，不同励磁方式的直流电动机有不同的特性。

2. 异步电动机

(1) 异步电动机的主要用途与分类

异步电动机的特点是结构简单、容易制造、价格低廉、运行可靠、坚固耐用、运行效率较高和具有适用的工作特性，缺点是功率因数较差。由于电网的功率因数可以用别的办法进行补偿，这并不妨碍异步电动机的广泛使用。

异步电动机运行时，定子绕组接到交流电源上，转子绕组自身短路，由于电磁感应的关系，在转子绕组中产生电动势、电流，从而产生电磁转矩。所以，异步电动机又称感应电动机。异步电动机的种类很多，从不同角度看，有不同的分类法：

按定子相数分，有单相异步电动机、两相异步电动机及三相异步电动机。

按转子结构分，有绕线式异步电动机和鼠笼式异步电动机(又包括单鼠笼异步电动机、双鼠笼异步电动机、深槽式异步电动机等)。

此外，从其他角度分，还有高启动转矩异步电动机、高转差率异步电动机及高转速异步电动机等。

异步电动机也可作为异步发电动机使用。单机使用时，常用于电网尚未到达的地区，又找不到同步发电动机的情况，或用于风力发电等特殊场合上。在异步电动机的电力拖动中，有时利用异步电动机回馈制动，即运行在异步发电动机状态。

(2) 异步电动机的额定值

① 额定功率 P_N，指电动机在额定运行时轴上输出的机械功率，单位是 kW。

② 额定电压 U_N，指额定运行状态下加在定子绕组上的线电压，单位为 V。

③ 额定电流 I_N，指电动机在定子绕组上加额定电压、轴上输出额定功率时，定子绕组中的线电流，单位为 A。

④ 额定频率，指电动机在额定运行时，加在定子绕组上的电网频率。

⑤ 额定转速 n_N，指电动机定子加额定频率的额定电压，且轴上输出额定功率时电动机的转速，单位为 r/min。

⑥ 额定功率因数 $\cos\varphi$，指电动机在额定负载时，定子侧的功率因数。

⑦ 绝缘等级与温升，各种绝缘材料耐温的能力不一样，按照不同的耐热能力，绝缘材料可分为一定的等级。温升是指电动机运行时高出周围环境的温度值。我国规定了环境最高温度为 40℃。

(3) 定子的接线

交流电动机的额定输出转矩、额定功率、额定转速之间的关系与直流电动机相同。此外，铭牌上还标明了工作方式、连接方法等。对绕线式异步电动机还要标明转子绕组的接法、转子绕组额定电动势(指定子绕组加额定电压、转子绕组开路时滑环之间的电动势)和转子的额定电流。

如何根据电动机的铭牌进行定子的接线？如果电动机定子绕组有 6 根引出线，并已知

其首、末端，分下列几种情况讨论。

当电动机铭牌上标明“电压 380/220 V，接法Y/△”时，这种情况下，要根据电源电压的情况连接。如果电源线电压为 380 V，则接成Y式；如果电源线电压为 220 V 时，则接成△式。当电动机铭牌上标明“电压 380 V，接法△”时，则只有一种△接法。但是在电动机启动过程中，可以接成Y式，接在 380 V 电源上，启动完毕，恢复△接法。对有些高压电动机，定子绕组往往有 3 根引出线，只要电源电压符合电动机铭牌电压值，便可使用。

3. 伺服电动机

伺服电动机把输入的信号电压变为转轴的角位移或角速度输出，转轴的转向与转速随信号电压的方向和大小改变而改变，并且能带动一定大小的负载。伺服电动机在自动控制系统中作为执行元件，故又称为执行电动机。

伺服电动机有直流和交流两大类。直流伺服电动机输出功率较大，一般可达几百瓦；交流伺服电动机输出功率较小，一般为几十瓦。

1）直流伺服电动机

直流伺服电动机即微型他励直流电动机，其结构与原理都与他励直流电动机相同。按磁极的种类划分为两种：一种是永磁式直流伺服电动机，它的磁极是永久磁铁；另一种是电磁式直流伺服电动机，它的磁极是电磁铁，磁极外面套着他励励磁绕组。直流伺服电动机就其用途来讲，既可作为驱动电动机（例如一些便携式电子设备中用永磁式直流电动机），也可作为伺服电动机（例如录像机、精密机床）。

2）交流伺服电动机

交流伺服电动机就是两相交流异步电动机，它的定子上有两个空间相差 90°的绕组。其中一个是励磁绕组，一个是控制绕组。由于交流伺服电动机是单相交流电动机，当两个绕组通以不同相位的交流电时，便会旋转起来。为了防止当控制电压 $U_k=0$ 时，交流伺服电动机仍然旋转，其转子的电阻做得很大。

3）步进电动机

在自动控制系统中，需要把数字信号转换为角位移。电动机每输入一组电脉冲，其转子就旋转一定角度位移，步进电动机是首选器件。步进电动机输出的角位移与输入的脉冲数成正比，转速与脉冲频率成正比。步进电动机分永磁式步进电动机（转子用磁性材料组成）、反应式步进电动机（转子用导磁性良好的铁磁性材料组成）和混合式步进电动机三种。在此分析反应式步进电动机的基本原理。反应式步进电动机由定子与转子两大部分组成。一般定子的相数 m 有 2、3、4、5、6 等，定子磁极个数则为 $2m$ 个，每个磁极上套着该相的控制绕组。转子由导磁性良好的铁磁性材料组成，如图 2.28 所示。

图 2.28 是一台三相六极反应式步进电动机，转子有 4 个齿。工作时电脉冲向 A、B、C 三相控制绕组轮流通入直流脉冲电流，转子就会向某个方向一步一步转动。下面分析反应式步进电动机空载时的运行情况。

当 A 相绕组通电，B、C 两相断电时，由于磁力的作用转子的位置如图 2.28(a)所示；当 B 相绕组通电，A、C 两相断电时，转子的位置如图 2.28(b)所示；当 C 相绕组通电，B、A 两相断电时，转子的位置如图 2.28(c)所示。以上过程称为三相单三拍运行过程。

当 AB 相绕组通电，C 相断电时，由于磁力的作用转子的位置如图 2.28(d)所示；当 BC 相绕组通电，A 相断电时，转子的位置如图 2.28(e)所示；当 CA 相绕组通电，B 相断电

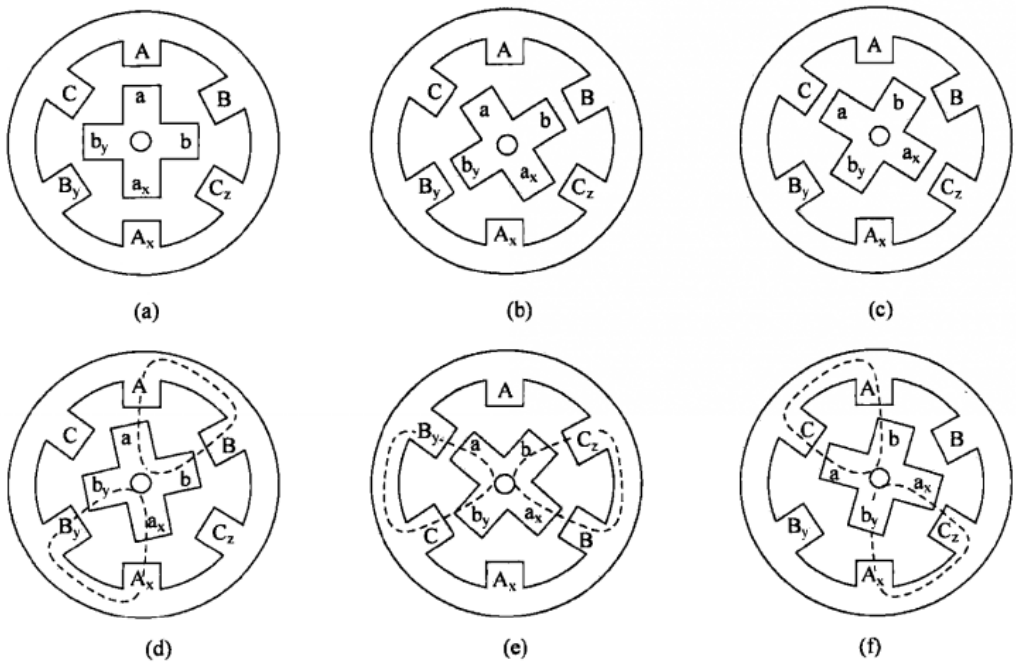


图 2.28 反应式步进电动机的结构及工作原理示意图

(a) 三相单三拍 A 相通电；(b) 三相单三拍 B 相通电；(c) 三相单三拍 C 相通电；
(d) 三相双三拍 AB 相通电；(e) 三相双三拍 BC 相通电；(f) 三相双三拍 CA 相通电

时，转子的位置如图 2.28(f)所示。以上过程称为三相双三拍运行过程。

如果通电方式以 A—AB—B—BC—C—CA 通电，则称为三相单双六拍运行方式。

由上述分析可见，三相单三拍运行过程与三相双三拍运行过程所形成的步距角相同，均是 30°。三相单双六拍运行方式的步距角是 15°。

上述的步进电动机步距角太大，影响使用，实际的步进电动机通过对定子与转子开槽，使步距角在 0.6°～2.25°之间。

(1) 驱动控制系统组成

使用并控制步进电动机必须使用步进电动机控制器，其原理框图如图 2.29 所示。

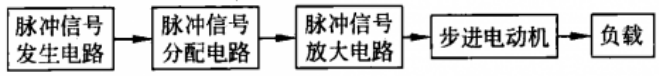


图 2.29 步进电动机控制器原理框图

脉冲信号发生电路一般由单片机产生脉冲，一般信号的占空比为 0.3～0.4，电动机转速越高，占空比则越大。

脉冲信号分配电路决定脉冲信号输出顺序。如图 2.28 所示的三相单三拍驱动方式，是 A—B—C—A 通电方式，而三相双三拍驱动方式是 AB—BC—CA。

脉冲信号放大电路通过对分配电路的脉冲信号进行功率放大，才能驱动步进电动机。步进电动机在一定转速下的转矩取决于它的动态平均电流而非静态电流(而样本上的电流均为静态电流)。平均电流越大，电动机力矩越大。要使平均电流大，需要驱动系统尽量克服电动机的反电势，因而不同的场合应采取不同的驱动方式。到目前为止，驱动方式一般有

以下几种：恒压、恒压串电阻、高低压驱动、恒流、细分数等。

(2) 步进电动机的参数及选用

① 步距角。步进电动机转子每转动一步产生的空间角度，称为步距角。工作机械的要求决定了所选步进电动机步距角的大小。如果工作机械要求的步距角很小，则应考虑采用步距角细分驱动方式或配合减速机构。

② 定子相数。永磁式步进电动机一般为两相，转矩和体积较小，步距角一般为 7.5°或 1.5°；反应式步进电动机一般为三相，可实现大转矩输出，步距角一般为 1.5°，但噪声较大。混合式步进电动机是指混合了永磁式和反应式的优点，多数为两相或五相，两相步进角一般为 1.8°，而五相步进角一般为 0.72°。目前这种步进电动机的应用最为广泛。

③ 相绕组电流。相绕组电流是步进电动机在满足允许温度要求的条件下，相绕组的最大电流。

④ 相绕组电压。步进电动机驱动器的供电电源电压一般是一个较宽的范围，电源电压通常根据电动机的工作转速和响应要求来选择。如果电动机工作转速较高或响应要求较快，那么电压取值也高，但注意相绕组电流不能超过额定值。

⑤ 常态转矩，即步进电动机没有通电的情况下，定子锁住转子的力矩。由于反应式步进电动机的转子不是永磁材料，所以它没有常态转矩。此力是衡量电动机体积(几何尺寸)的标准，与驱动电压及驱动电源等无关。

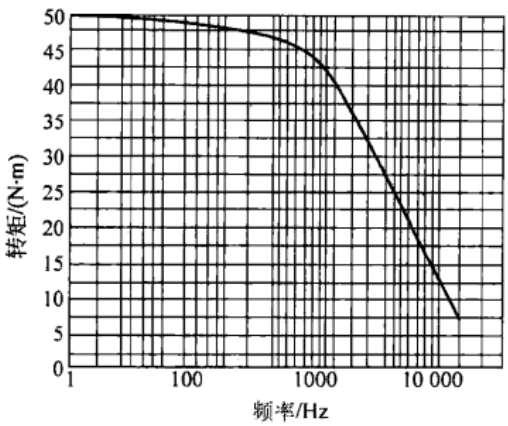


图 2.30 步进电动机的转矩频率特性(130BYG2503 型)

⑥ 保持转矩。保持转矩是指步进电动机通电但没有转动时定子锁住转子的力矩。通常步进电动机在低速时的力矩接近保持转矩。步进电动机的输出力矩随速度(电源频率)的增加而不断增大，所以保持转矩就成为了衡量步进电动机最重要的参数之一，通常用转矩频率特性表示，如图 2.30 所示。

⑦ 空载启动频率，即步进电动机在空载情况下能够正常启动的最高脉冲频率。如果脉冲频率高于该值，电动机不能正常启动，可能发生丢步或堵转。在有负载的情况下，启动频率会更低。如果要使电动机达到高速转动，一般首先自较低频率启动，然后按一定加速度升到所希望的高频，电动机转速便从低速升到高速。

⑧ 失调角的大小确定。当转子受到负载扭矩作用时，转子齿的轴线会偏移定子齿的轴线一定角度，这个角度称为失调角。电动机输出转矩越大，失调角越小。

4. 直线电动机

利用电能直接产生直线运动的电动机称为直线电动机。其原理与相应的旋转式电动机相似。在结构上，直线电动机包括定子和动子两个主要部分。它们可看作是由相应旋转电动机沿径向切开拉直演变而成，图 2.31 所示的是双边直线感应电动机结构示意图，如果将其去掉一侧定子，则成为单边直线感应电动机。单边直线感应电动机定子和动子之间有很大的吸引力，应用相对较少。

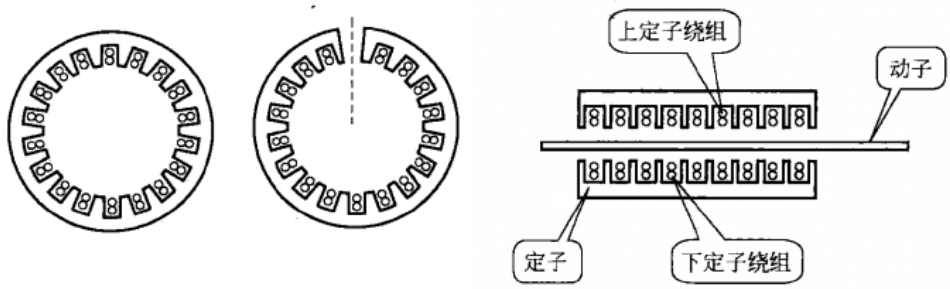


图 2.31 双边直线感应电动机结构示意图

1）直线电动机的分类

（1）按原理分类

直线电动机按原理分为直流直线电动机、交流直线异步电动机、直线步进电动机和交流直线同步电动机。它们的工作原理与对应的旋转电动机工作原理相似。

（2）按结构形式分类

直线电动机按其结构形式可分为扁平形、圆筒形（或管形）、圆盘形和圆弧形 4 种。

扁平形直线电动机，顾名思义，即为一种扁平的矩形结构的直线电动机。每种形式下又分别有短初级长次级或长初级短次级。

如果将扁平直线电动机沿运动方向的法线卷曲，则成为圆筒形直线电动机。圆筒形直线电动机一般均为短初级长次级形式。在需要的场合，这种电动机可以做成既有旋转运动又有直线运动的旋转直线电动机，旋转直线的运动体既可以是初级，也可以是次级。

圆盘形直线电动机的次级是一个圆盘，不同形式的初级驱动圆盘次级做圆周运动。直线圆盘电动机虽然也做旋转运动，但它与普通旋转电动机相比，具有如下优点：①力矩与旋转速度可以通过多台初级组合的方式或通过初级在圆盘上的径向位置来调节；②不必通过齿轮减速器就能得到较低的转速，因而电动机噪声和振动很小。

圆弧形电动机的运动形式是旋转运动，同圆盘形，但转子结构不足 360°，运动范围也不足 360°。

（3）按功能用途分类

直线感应电动机按功能用途主要可分为力电动机、功电动机和能电动机。

力电动机是指单位输入功率所能产生的推力，或单位体积所能产生的推力，主要用于在静止物体上或低速的设备上施加一定推力的直线电动机。它以短时运行、低速运行为主，如阀门的开闭、门窗的移动、机械手的操作、推车等。这种电动机效率较低，甚至为零（如在静止物体上施加推力时，效率为零），因此，对这类电动机不能用效率指标去衡量，而是用推力/功率来衡量，即在一定的电磁推力下，其输入的功率越小，其性能越好。

功电动机主要作为长期连续运行的直线电动机，它的性能衡量指标与旋转电动机基本一样，即可用效率、功率因数等指标来衡量其电动机性能的优劣。例如高速磁悬浮列车用直线电动机，各种高速运行的输送带等。

能电动机是指运动构件在短时间内能产生极高能量的驱动电动机，它主要是在短时间、短距离内提供巨大的直线运动动能。例如导弹、鱼雷的发射，飞机的起飞以及冲击、撞击试

验机的驱动等。这类直线电动机的主要性能指标是能效率(能效率=输出的动能/所提供的电能)。

2) 直线电动机的基本型号及基本参数

(1) 基本型号

直线电动机的型号表示如下:

XY—200—6—Cu—2

其中,X 表示直线电动机;Y 为异步运行方式;200 表示额定推力 200 N;6 表示同步速度是 6 m/s;Cu 表示次级材料是铜;2 表示次级厚是 2 mm。

(2) 基本参数

标准确定的直线电动机基本参数主要有以下几方面。

① 额定频率,如 50 Hz。

② 初级额定电压及连接方式,如为 380 V,初级绕组为Y连接。

③ 直线电动机额定推力(转差率为 1 时),如 10 N、20 N、30 N、50 N、100 N、200 N、300 N、500 N、750 N、1000 N、1500 N、2500 N、3000 N、4000 N、5000 N 等。

④ 直线电动机额定同步速度,如 3 m/s、4.5 m/s、6 m/s、9 m/s、12 m/s 等。

⑤ 直线电动机的负载持续率,如 15%、25%、40%、60%等。

直线电动机较多应用于各种定位系统和泊车控制系统。大功率的直线电动机还常用于电气铁路高速列车的牵引、鱼雷的发射等装置。

(3) 工作特性

异步直线电动机的工作特性又称为速度-力特性。如图 2.32 所示,动子的运动速度越慢,动子产生的力越大;动子的运动速度越接近同步速度,动子产生的力越小。

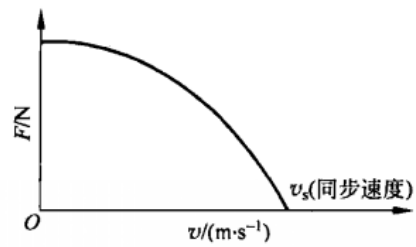


图 2.32 异步直线电动机的工作特性

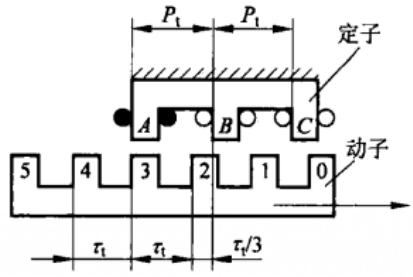


图 2.33 反应式直线步进电动机的工作原理

3) 直线步进电动机

(1) 工作原理

图 2.33 所示为反应式直线步进电动机的工作原理。电动机由定子和动子两部分组成。定子为由硅钢片叠合而成的 E 形铁芯,在 A、B、C 磁极的铁芯上分别缠有一个绕组,相邻两磁极的间距为 P_t。动子为由硅钢片叠合而成的齿条形铁芯,齿间距 $\tau_t=(3/4)P_t$。令各绕组按 A→B→C→A→…相顺次通电时,动子由磁极 A 对准齿 3,转换为磁极 B 对准齿 2,再转换为磁极 C 对准齿 1,…,则动子做向右步进运动,步距为 $\tau_t/3$。若按三相六拍运行,则步距为 $\tau_t/6$。利用细分电路时可实现很小的步距。直线步进电动机可直接将电能转换成为直线运动机械能,省去采用步进电动机方案中将回转运动转换为直线运动的

传动元件。

(2) 直线步进电动机的应用

直线步进电动机有下列特点：

① 与步进电动机相比，直线步进电动机驱动系统中，不需将回转运动转换为直线运动的中间传动元件，因此机械系统简单；

② 与步进电动机一样，直线步进电动机动子的位移或速度取决于脉冲信号数目或频率，不受电压波动和负载变化的影响，而脉冲信号则容易借助数字技术加以控制；

③ 直线步进电动机既是能量转换装置，又是位移测量装置，组成开环控制系统简单方便；

④ 工作时既不排油污，又不发出噪声，对环境无污染；

⑤ 体积小，重量轻，对指令响应速度快；

⑥ 驱动力和功率较小；

⑦ 直线运动速度受到执行元件惯性的限制，一般不高。

根据上述分析，可考虑在以下场合选用直线步进电动机：

① 工艺要求的驱动力、功率较小；

② 要求动力元件的体积小，例如装入仪器仪表中；

③ 组成直线运动开环控制系统；

④ 组成自动化或智能化设备。

2.3 带传动、链传动和钢丝绳传动

1. 带传动

带传动是依靠带与带轮之间的摩擦力传递动力。带传动具有结构简单、传动平稳、造价低廉以及缓冲吸振等特点。常用的传动带有平带传动、V 带传动、多楔带传动和同步带传动等，如图 2.34 所示。

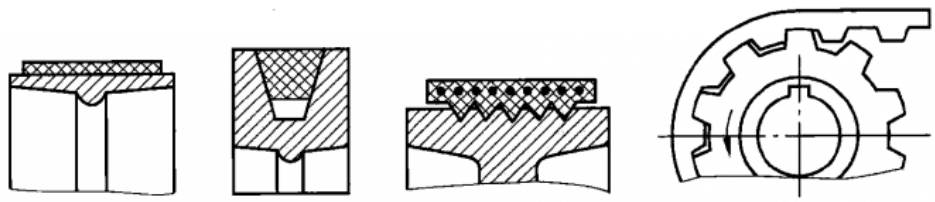


图 2.34 带传动的类型

(a) 平带传动；(b) V 带传动；(c) 多楔带传动；(d) 同步带传动

在一般的机械传动中，应用最广泛的是 V 带传动。V 带的横截面为等腰梯形，带轮上也做出相应的轮槽。传动时，V 带只和轮槽的两个侧面接触，即以两侧面为工作面，在相同的张紧力下，V 带传动较平带传动能产生更大的摩擦力，允许的传动比也较大，结构较紧凑。V 带已经标准化并且有批量生产、价格便宜等优点，因此 V 带传动的应用比平带传动更广泛。

(1) 高速带传动

高速带传动系指带速 $v>30$ m/s，高速轴转速 $n_1=10\,000\sim50\,000$ r/min 的传动。这种传动主要用于增速以驱动高速机床、粉碎机、离心机及某些其他机器。高速带传动的增速比为 2～4，有时可达 8。

高速带传动要求传动可靠、运转平稳、并有一定的寿命，故高速带都采用质量小、厚度薄而均匀、挠曲性好的环形平带，如麻织带、丝织带、尼龙编织带、薄型强力尼龙带、高速环形胶带等。

高速带轮要求质量小而且分布对称均匀，运转时空气阻力小，通常都采用钢和铝合金制造，各个面均应进行加工。其轮缘工作表面的粗糙度不得大于 3.2，并要求进行动平衡。

在高速带传动中，带的寿命占有很重要地位，带的绕曲次数是影响带寿命的主要因素。

(2) 同步带传动

同步带传动综合了带传动和链传动的优点。同步带通常是以钢丝绳或玻璃纤维等为抗拉层、以氯丁橡胶或聚氨酯橡胶为基体、工作面上带齿的环状带(见图 2.35)。工作时，带的凸齿与带轮外缘上的齿槽进行啮合传动(见图 2.34(d))。由于抗拉层承载后变形小，能保证同步带的齿距不变，故带与带轮间没有相对滑动，从而保证了同步传动。

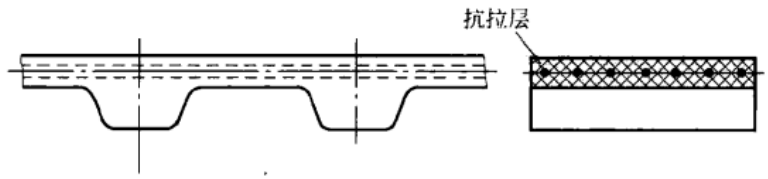


图 2.35 同步带

同步带传动时的线速度可达 50 m/s(有时允许达 100 m/s)，传动功率可达 30 kW，传动比可达 10(有时可达 20)，传动效率可达 0.98。

同步带传动的优点是：无滑动，能保证固定的传动比；预紧力较小，轴和轴承上所受载荷较小；带的厚度小，单位长度的质量小，故允许的线速度较高；带的柔性好，故所用带轮的直径较小。其主要缺点是安装时中心距要求严格，且价格较高。

同步带主要用于传动比要求准确的中、小功率传动中。

2. 链传动

链传动是由链条和主、从动轮组成，见图 2.36。它通过链轮上的齿与链节的啮合传递运动和力。链传动是带有中间挠性构件的啮合传动。

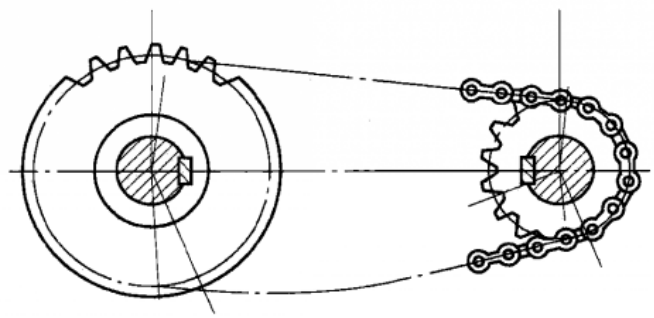


图 2.36 链传动

(1) 特点及应用

与带传动相比，链传动无弹性滑动和打滑现象，能够保证准确的平均传动比，传动效率高；由于一般情况下不需要张紧，作用在轴上的径向压力较小；在相同的条件下，链传动的结构较为紧凑。同时，能够在高温、低速和恶劣的环境下工作。与齿轮传动相比，链传动的制造和安装精度要求较低，成本低廉，在远距离传动时比齿轮传动轻便。其主要缺点是：在两平行轴间只能用于同向回转的传动；不能保证恒定的瞬时传动比；磨损后易跳齿；工作时有噪声；不宜用在载荷变化很大和急速反向的传动中。

(2) 链传动的结构

链传动的结构主要有滚子链和齿形链，如图 2.37 所示。与滚子链相比，齿形链(见图 2.38)传动平稳、无噪声，承受冲击载荷的性能好。

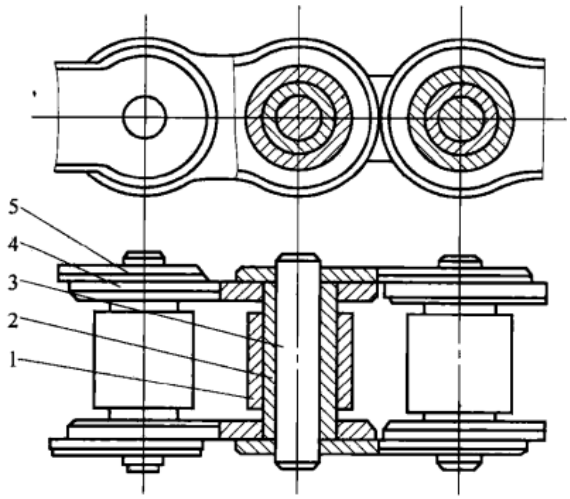


图 2.37 链传动的结构

1—滚子；2—套筒；3—轴销；4—内链板；5—外链板

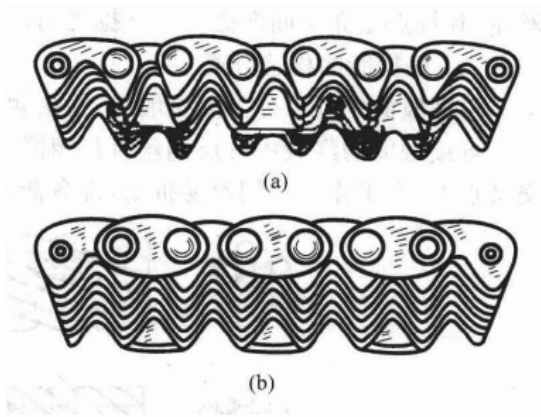


图 2.38 齿形链

(a) 带内导板；(b) 带外导板

3. 钢丝绳传动

钢丝绳传动是起重机上最常用的一种传动方式，它以钢丝绳为挠性构件，具有以下特点：强度高、弹性好、耐冲击和自重轻；挠性好，运行平稳，可用于高速工作；工作可靠，不会突然断裂(在断裂之前，外部钢丝先断裂和松散)。

1) 钢丝绳的种类

(1) 根据捻绕次数分类

根据捻绕次数可分为单绕绳，双绕绳和三绕绳。

单绕绳由几层钢丝依次围一钢芯绕制而成，其特点是挠性好、强度高，不宜用于起重绳，一般用于不运动的拉索或缆索。

双绕绳先由钢丝捻成股，再由股围绕绳芯捻成绳。绳芯材料为麻或石棉，钢丝绳挠性好，一般用在起重机中。

三绕绳将双绕绳作为股，再由几股捻成绳。挠性特别好，但由于钢丝太细，易折断，不宜用于起重机中。

(2) 根据钢丝绳的捻向分类

根据钢丝绳的捻向可分为同向捻、交互捻和混合捻钢丝绳。

同向捻钢丝绳的钢丝绳捻成股与股捻成绳的方向相同，见图 2.39(b)。其特点是钢丝绳间的接触较好，表面较平滑，挠性好，磨损小，使用寿命长。但有自行扭转和松散趋势，易打结，不宜用于起重机中，适用于保持张紧力的场合。

交互捻钢丝绳如图 2.39(a)所示，钢丝绳捻成股与股捻成绳的方向相反。其特点是没有自行扭转和松散趋势，不易打结，常用于起重机中，但挠性小和寿命短。

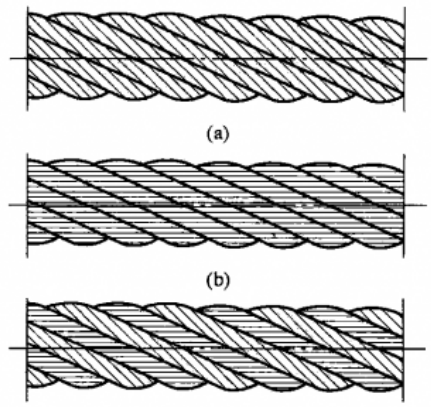


图 2.39 钢丝绳的捻向

(a) 同向捻；(b) 交互捻；(c) 混合捻

混合捻钢丝绳是由两种相反绕向的股捻成的钢丝绳，其特点是介于同向捻与交互捻之间，一般用于大提升高度的起重机中。

(3) 根据股的构造分类

根据股的构造可分为点接触绳、线接触绳和面接触绳。

点接触绳的绳股中各层钢丝直径相同，而且内外层钢丝的节距不等，相互交叉，接触在交叉点上，在工作中内钢丝易折断，寿命低，但成本低，如图 2.40(a)所示。

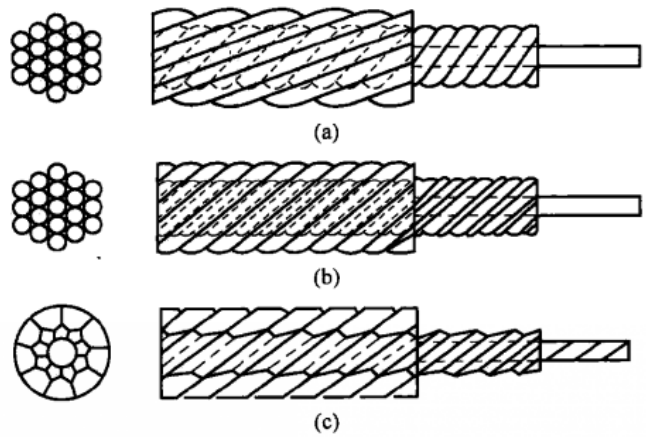


图 2.40 点、线、面接触的钢丝绳

(a) 点接触钢丝绳；(b) 线接触钢丝绳；(c) 面接触钢丝绳

线接触绳如图 2.40(b)所示，绳股中各层钢丝节距相等，外层钢丝位于内层钢丝的沟缝中，内外层钢丝互相接触在一条螺旋线上形成线接触，但需要采用不同直径的钢丝。其特点是寿命长、挠性好、强度高。

面接触绳结构如图 2.40(c)所示，其特点同线接触，且性能更好，但成本高。

2) 绳芯和直径

绳芯的作用是增加挠性、弹性和润滑。一般在钢丝绳中心布置一股绳芯，也可在每股中设置绳芯。绳芯主要有以下几种：

① 有机芯，采用浸油麻绳，不适用高温环境；

② 石棉芯，用石棉绳制造，可耐高温；

③ 金属芯，用软钢的钢丝或绳股作为绳芯，可耐高温和承受横向压力。

钢丝绳的直径应根据使用条件由最大工作拉力确定。

3）滑轮和滑轮组

（1）滑轮

滑轮用来改变钢丝绳方向和作用力或运动速度。由一个圆弧槽底和两个倾斜的侧壁组成滑轮的槽。根据滑轮轴线是否运动可分为定滑轮和动滑轮。定滑轮改变绳索作用力和运动方向，动滑轮一般起省力和增速作用。只用于改变绳索运动方向的滑轮称为导向滑轮；只利用滑轮的转动来调整钢丝绳两边的长度和拉力的滑轮称为均衡滑轮。

对滑轮的槽形要求是能保证钢丝绳与绳槽有足够的接触面，并能在钢丝绳有一定偏斜时钢丝绳与绳槽不产生摩擦。滑轮的材料对钢丝绳的寿命有很大的影响。滑轮上出现压痕，将加剧钢丝绳的磨损。滑轮的材料一般有铸铁、球墨铸铁、铸钢、焊接钢、铝合金、尼龙等。

（2）滑轮组

钢丝绳和一定数量的定滑轮和动滑轮组成滑轮组。

按滑轮组的功能可分为省力滑轮组（图 2.41(a)）和增速滑轮组（图 2.41(b)）。

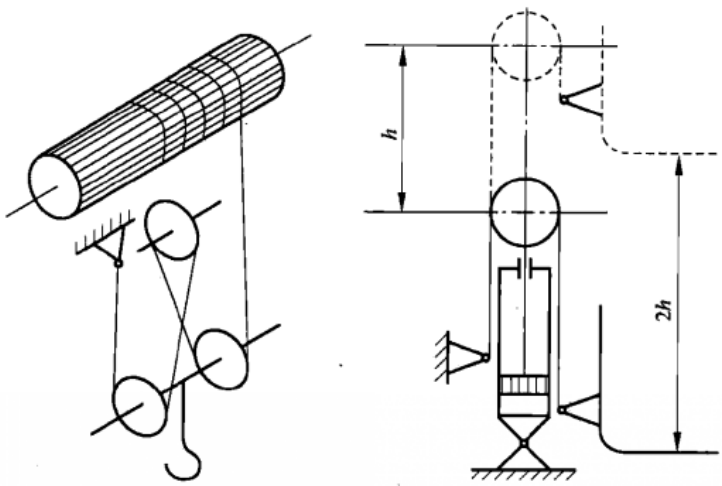


图 2.41 滑轮组

按滑轮组的构造可分为单联滑轮组和双联滑轮组。前者的特点是卷筒上的钢丝绳分支数为 1；后者是由两个单联滑轮组构成。

驱动钢丝绳的速度与物料升降速度之比（即等于起升载荷与理论提升力之比），称为滑轮组的倍率或传动比，它对提升机构的总体尺寸有很大影响。倍率加大，一方面可使钢丝绳拉力减少，使钢丝绳、卷筒和滑轮的直径减少，并可减少传动系统的转矩和速度比，从而减少整个起升机构尺寸；另一方面，又导致滑轮组本身笨重，使用效率低，钢丝绳磨损严重。因此，要选用适当倍率，一般大起重量选用较大倍率，以免采用过粗的钢丝绳；起升高度大时，宜选较小倍率，防止卷筒过长和采用多层绕组。

(3) 卷筒

卷筒是用来卷绕、收存钢丝绳和传递动力，并把旋转运动转为直线运动的构件。卷筒一般为圆柱形，也有圆锥形和曲线形的。

卷筒按表面情况可分为光面卷筒(多层)和有槽卷筒(单层)两种。光面卷筒容量大，主要用于起升高度特别大、机构要求紧凑的场合，多层卷绕一般不超过 3 层。一般的起重机采用有槽的单层卷筒，通常表面切出螺旋槽，以防止相邻钢丝绳的磨损，并增加钢丝绳的接触面积和减少接触应力，可大大改善钢丝绳的工作条件，提高钢丝绳的使用寿命。

根据卷筒的制造方式可将其分为铸造和焊接两种。在一般载荷的起重机中采用灰口铸铁，对重要的卷筒可用球墨铸铁，对重载荷的卷筒采用铸钢；对有重量要求的结构，采用焊接卷筒(比铸铁轻 35%～40%)。

卷筒的直径由钢丝绳直径确定，卷筒长度则由起升高度和滑轮组倍率确定。

钢丝绳在卷筒上的固定要求安全可靠、便于检查更换，且钢丝绳不应过分弯曲。常用的固定方法有以下 4 种。

① 螺钉压板固定法，特点是构造简单，检查装拆方便，但需增加卷筒长度，且不能用于多层卷绕，见图 2.42(a)。

② 楔块固定法，特点是结构紧凑，适用多层卷绕，但卷筒构造复杂。它把钢丝绳端通过卷筒表面孔道穿入卷筒内部，然后用楔块将绳固定，见图 2.42(b)。

③ 长板条固定法，适用于多层卷绕，但卷筒构造复杂，应用较少。它是把钢丝绳端穿入卷筒内部特制槽中，用螺钉及板条压紧，见图 2.42(c)。

④ 侧板上压板固定法，适用多层和单层卷绕。它是将绳头引出到卷筒侧板外，用螺钉压板将绳头固定，见图 2.42(d)。

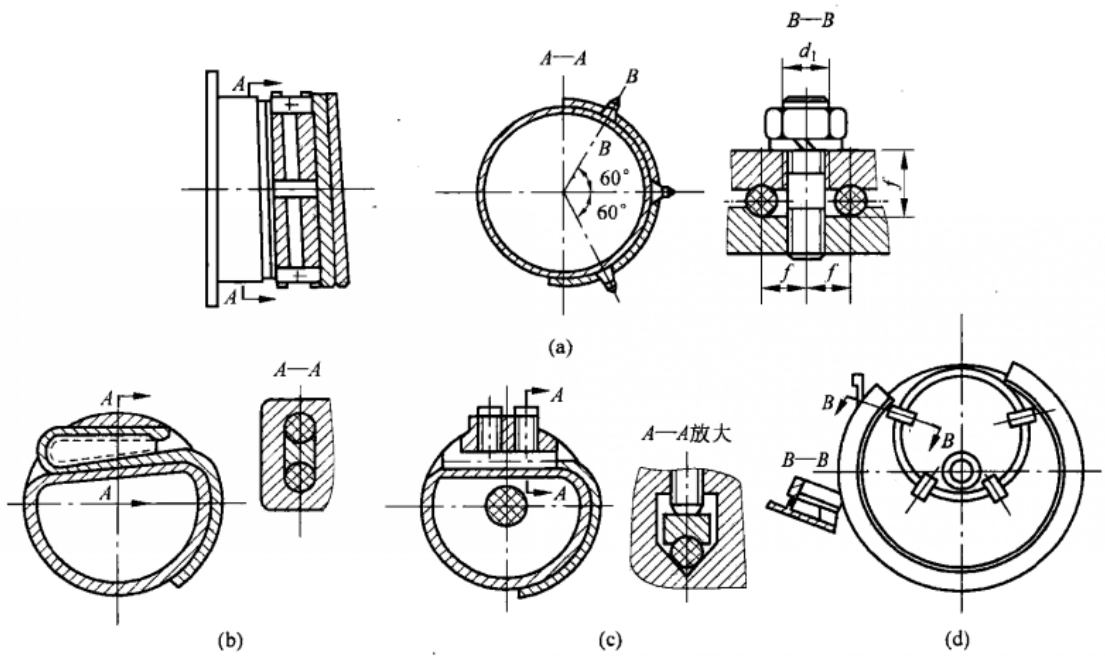


图 2.42 钢丝绳在卷筒上的固定方法

(a) 螺钉压板固定法；(b) 楔块固定法；(c) 长板条固定法；(d) 侧板上压板固定法



输送机械

3.1 概　　述

1. 输送机械的概念

连续输送机械是以连续、均匀、稳定的输送方式，沿着一定的线路搬运或输送散状物料和成件物品的机械装置，简称输送机械。

由于输送机械具有能在一个区间内连续搬运物料，运行成本低、效率高，容易控制等特点，因而被广泛应用于现代物流系统中。它是现代装备传输系统实现物料输送搬运的最主要基础装备，在现代生产企业中，各种自动化流水线都属于自动化的输送机械。

2. 输送机械的特点

输送机械能沿固定路线不停地输送物料，其工作机构的装载/卸载都是在运行过程中进行的，因而输送机的启动、制动次数少。同时，被输送的散料均匀分布于承载构件上，被输送的成件物料也同样按一定的次序以连续的方式输送。因此，输送机械具有以下优点：

① 具有较高的生产率。

② 在同样生产率下，自身质量轻，外形尺寸小，成本低，驱动功率小。

③ 传动机构的机械零部件负荷较低，冲击小。

④ 结构紧凑，制造和维修容易。

⑤ 输送物料路线固定，动作单一，便于实现自动控制。

⑥ 工作过程中负载均匀，所消耗的功率几乎不变。

缺点如下：

① 只能按固定的路线输送物料，每种机型只适用于一定类型的物料，且一般只能输送质量不大的物料，通用性差。

② 大多数输送机械不能自取物料，因此必须配置相应的装载/卸载装置。

3. 输送机械的分类

输送机械按安装方式可分为固定式输送机（输送量大、效率高）和移动式输送机（机动性强）两类；按结构特点可分为具有挠性构件的输送机（牵引构件是一个往复循环的封闭系统，如带式、链式等）和无挠性构件的输送机（利用工作构件的旋转运动或振动，使物料向一定方向输送，构件不具有往复循环形式，如螺旋输送机、振动输送机等）；按输送对象可分为散料

输送机、成件输送机和通用输送机；按采用原动力的不同，可分为动力式（如电动等）和无动力式（靠物料自重惯性或人工推力）。

3.2 带式输送机

带式输送机是应用最广泛的输送机械，它是由一条封闭的输送带和承载构件连续输送物料的机械。其特点是工作平稳可靠，易实现自动化；可应用于工厂、仓库、车站、码头、矿山等场合。适用于松散密度为 0.5 g/cm³ 的各种粒状、粉状散料和质量不大的成件物料。

基本工作原理：无端输送带绕过驱动滚筒和张紧滚筒，利用输送带与滚筒之间的摩擦力来带动输送带运动，物料通过装载装置送到输送带，随输送带运动一起到卸载点，通过卸载装置从输送带上卸出。

3.2.1 带式输送机的类型

带式输送机的特点是输送距离长、生产率高、结构简单、营运费用低、输送线路可灵活布置、工作平稳可靠、操作简单、安全可靠、易实现自动控制等。带式输送机广泛应用于仓库、港口、车站、工厂、煤矿、矿山、建筑工地等场合。

带式输送机的类型图谱如图 3.1 所示。

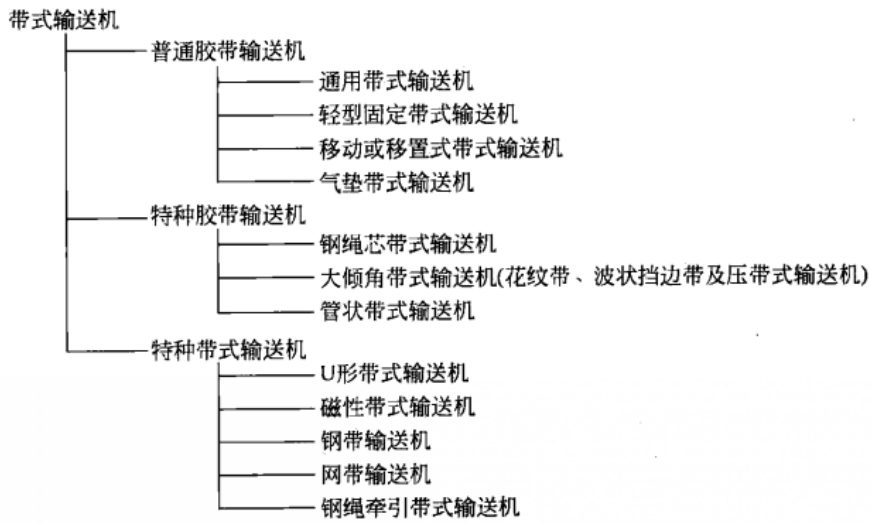


图 3.1 带式输送机的类型图谱

3.2.2 带式输送机的结构组成

图 3.2 是一典型的带式输送机结构组成图。一般带式输送机结构主要包括输送带、支撑装置、驱动装置、张紧装置、制动装置及改向装置等。

1. 输送带

输送带的作用是传递牵引力和承载物料，要求强度高、耐磨性好、挠性强、伸长率小。

输送带按材质可分为橡胶带、塑料带、钢带、金属网带等，其中最常用是橡胶带；按用途

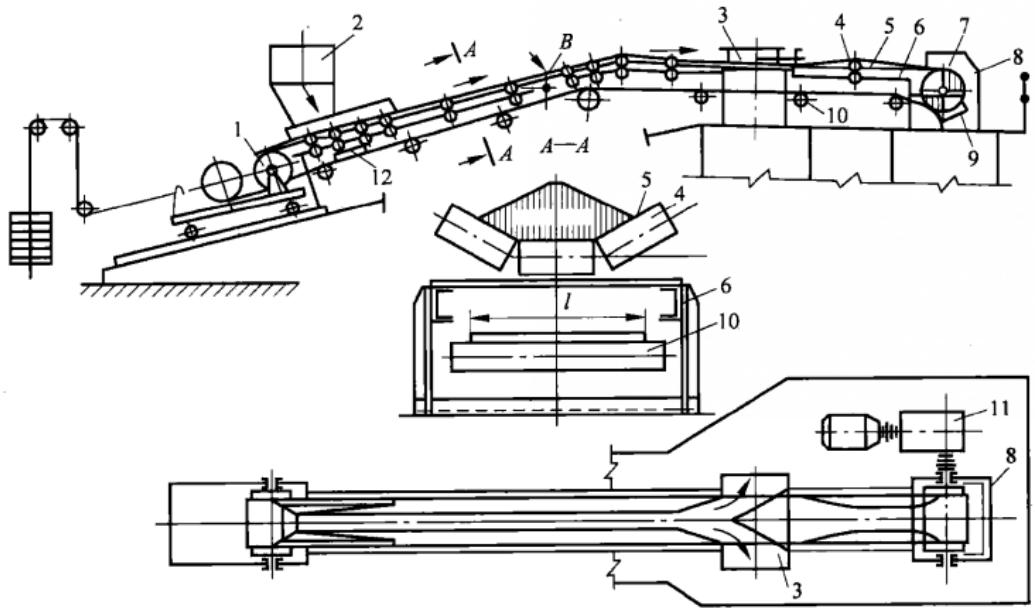


图 3.2 固定带式输送机

1—张紧滚筒；2—装载装置；3—犁形卸载挡板；4—槽形托辊；5—输送带；6—机架；7—驱动滚筒；8—卸载罩壳；9—清扫装置；10—平托盘；11—减速器；12—空段清扫器

分主要有强力型、普通型、轻型、井巷型、耐热型 5 种；此外还有花纹型、耐油型等，具体见表 3.1。

表 3.1 输送带类型及适应工作条件

物料及工作条件特性	宜选输送带		
	类 型	芯层代号	覆盖胶代号
松散密度较小、摩擦性较小的物料，如谷物、纤维、木屑、粉末及包装物品等	轻型(薄型)	CC、VV、NN	NR、PVC
松散密度在 2.5 t/m^{-3} 以下的中小块矿石、原煤、焦炭、沙砾等对输送带磨损不太严重的物料	普通型	CC、VV、NN、EP	NR、SBR
松散密度较大的大中小块矿石、原煤等冲击力较大、磨损较重的物料，输送量大、输送距离较长的输送机	强力型	NN、EP、ST	NR、SBR、IR
矿井下运送物料	井巷型	CC、VV、NN、EP	PVC、CR、CPE、NBR
工作区域易于爆炸、易于起火(如地下煤矿)	难燃型	CC、NN、EP、PVC、PVG、ST	CR、PVC、CPE、NBR
输送 80～150℃的焦炭、水泥、化肥、烧结矿、铸件等	耐热型	CC、VV、EP、NN、ST	SBR、CR
工作环境温度低达－30～－40℃	耐寒型	CC、VV、EP、NN、ST	NR、BR、IR
输送 150～500℃的矿渣、铸件等热物料	耐高温型难燃型	CC	EPCM、HR

续表

物料及工作条件特性	宜选输送带		
	类 型	芯层代号	覆盖胶代号
输送机倾斜角度较大	花纹型波状挡边型	CC、VV、NN、EP	NR、SBR
输送量大、输送距离长	高强力型	ST	NR、IR、SBR
物料冲击较严重	耐冲击型	VV、NN、EP、ST	NR、IR
物料含油或有机溶剂	耐油型	CC、VV、NN、EP、ST	CR、NBR、PVC
物料带腐蚀性(酸、碱)	耐酸碱型	CC、VV、NN、EP、ST	CR、IR、NR
食品,要求不污染	卫生型	CC、NN	NR、PVC、NBR
物料带静电	导静电型	CC、NN	SBR、NR、BR、CR

注：① 芯层代号：CC—棉帆布芯；VV—维纶芯；NN—尼龙芯；EP—聚酯芯；ST—钢丝绳芯；PVC—尼龙(或聚酯)长丝与棉纤维编织整芯浸渍 PVC；PVG—在"PVC"整芯带基上加贴橡胶面。

② 覆盖胶代号：NR—天然橡胶；SBR—丁苯橡胶；CR—聚丁橡胶；BR—顺丁橡胶；NBR—丁腈橡胶；HR—丁基橡胶；PVC—聚氯乙烯；CPE—氯化聚乙烯；IR—异戊二烯橡胶。

普通橡胶输送带的优点是成槽性好、伸长率小，对驱动滚筒的摩擦因数较大，强度和允许带速能适应于一般通用带式输送机，因则应用最广，结构如图 3.3 所示。其带芯材料是棉织物或化纤物的胶布层，外层用橡胶作覆盖材料；适用工作环境：－15～40℃，物料温度不超过 50℃情况。

国产通用带宽有 500 mm，650 mm，800 mm，1000 mm，1200 mm，1400 mm 6 种规格，帆布层数为 3～12 层。

橡胶带连接方式可采用机械接头或硫化接头。机械接头是用一排钢制卡子连接输送带两端，因对胶带的损伤较大，接头强度仅为胶带强度的 35%～40%。由于带芯外露易受腐蚀，只适用输送距离短、物料无腐蚀性，检修时间短的场合，一般较少采用。硫化接头是将接头部位的胶布层和覆盖层切割成对称的阶梯，涂以黏胶加热而成，如图 3.4 所示。图中 B

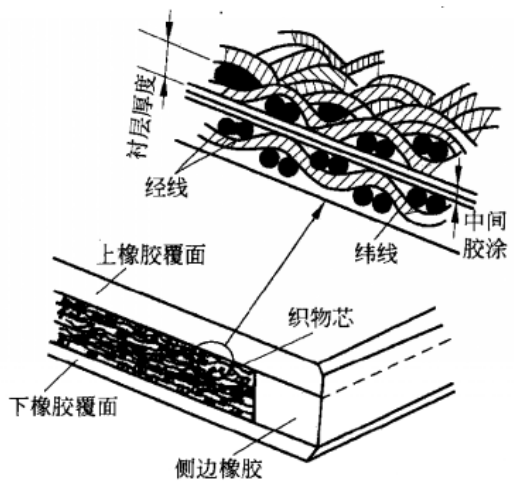


图 3.3 普通橡胶带断面

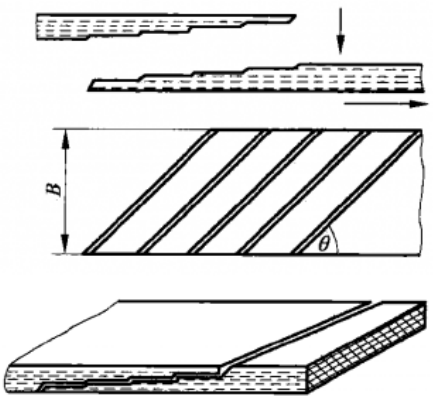


图 3.4 普通橡胶带硫化接头

为带宽，切割斜度可取 30°，阶梯长度约取 150 mm。硫化接头的强度能达到胶带强度的 85%～90%，且能防止带芯腐蚀，延长其使用寿命，被大量采用。

2. 支撑装置

支撑装置的作用是支撑输送带及带上的物料，减少输送带的下垂，使其能够稳定运行。

(1) 普通支撑装置

普通支撑装置一般采用滚柱支座作为带的支座，如图 3.5 所示。

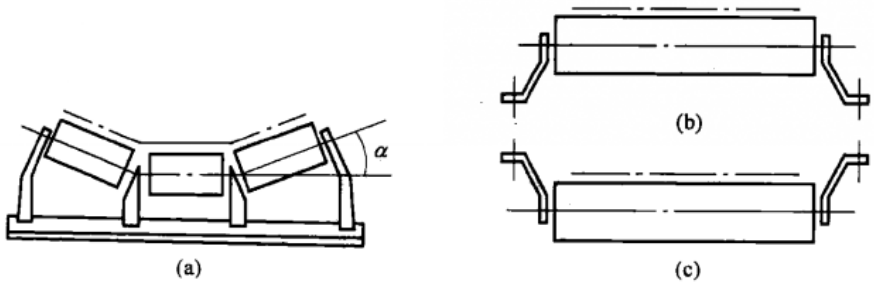


图 3.5 带式输送机滚柱支座

(a) 槽形支撑滚柱；(b) 上分支平行支撑滚柱；(c) 下分支支撑滚柱

槽形支撑滚柱用于橡胶带的承载分支，直形支撑滚柱用于无载分支(散料)。在运送成件物料的输送机中，两分支撑滚柱(上下)都是直形的。有时，在运送成件物料的输送机中，不用支撑滚柱，而用木制或金属滑板，带的承载分支在板上滑动，如图 3.6 所示。

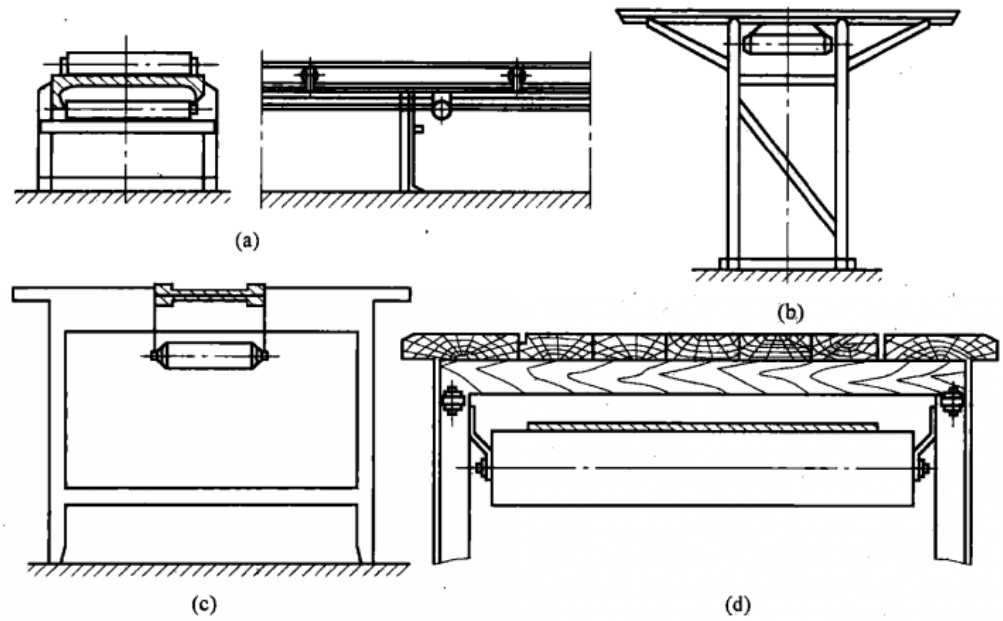


图 3.6 带式输送机的滑板支撑

(a) 直形支撑滚柱；(b) 用于双带的滑板；(c)、(d) 用于单带的滑板

承载分支的支撑滚柱大多是槽形的，由 2 个、3 个或 5 个滚柱装在轴上制成，各轴间的相互位置成一定的角度。滚柱支撑在刚性的支架上，支架则装在横梁上。无载分支的支撑

滚柱是平直形的，用 1 个滚柱支成，滚柱装在轴上，轴则支撑在下部支架上。支架是铸造或冲压而成的部件，轴可在上面自由转动。为了减轻支撑滚柱重量，滚柱和支撑滚柱的轴心常用空心钢管制成，它与轴承、轴承支座的连接关系如图 3.7 所示。

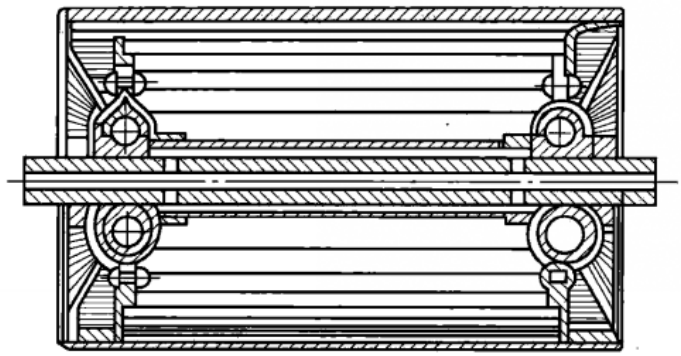


图 3.7 带式输送机滚柱总成

滚柱间距离要适当，间距太小会增加输送带磨损和功率消耗，太大会使输送带过分下垂。通常装运散料的上滚柱间距可取 1.2 m；装运单件超过 20 kg 成件物料时，滚柱间距应小于物料运送方向长度之半；下分支不承受重量，滚柱间距可取 3 m；装料处滚柱间距一般取为上滚柱间距的 1/3～1/2。

(2) 特殊支撑装置

特殊支撑装置主要是缓冲滚柱和调心滚柱。

缓冲滚柱作用是为了减少物料输送的冲击，一般用在带式输送机的受料处。缓冲滚柱有橡胶圈式和弹簧板式等形式，如图 3.8 所示。

调心滚柱是为防止输送带结合的不正确和跑偏因素的影响(可能导致输送带从滚柱上滑下的现象)而在输送机上设置的，其作用是调整输送带的横向位置，使其保持正常运行，如图 3.9 所示。

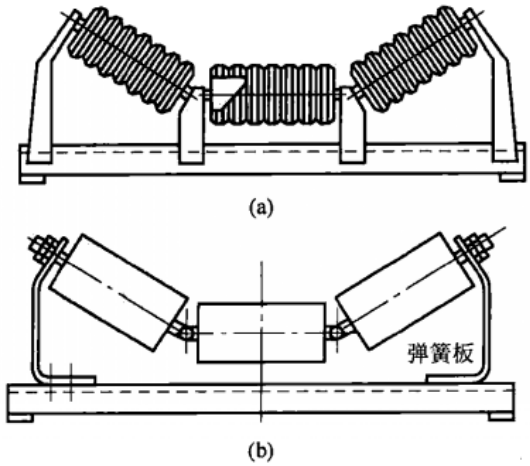


图 3.8 带式输送机缓冲滚柱

(a) 橡胶圈式滚柱；(b) 弹簧板式滚柱

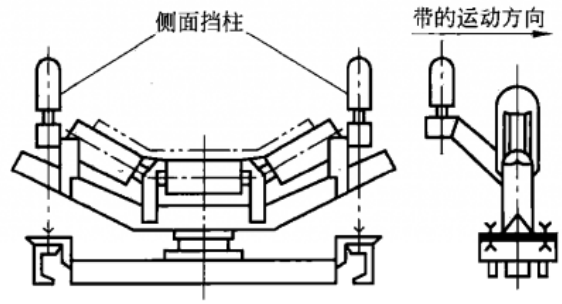


图 3.9 挡柱式调心滚柱

最简单的调心方法是将三节槽形滚柱组的两个侧滚柱朝胶带运行方向前倾一定角度(一般 2°～3°),如图 3.10 所示。从图中可以看出,当输送带运行时,两侧滚柱均产生作用力把输送带推向中心。输送带走正时,两边的推力互相抵消;当输送带偏向某一侧时,该侧滚柱的接触长度增加,回复力也比另一侧大,输送带在两侧力差的作用下向中间移动。为使调心可靠,应将所有上滚柱的两侧滚柱前倾同一角度。这种方法简单,但阻力会增大 10%。

许多通用输送机上,设置的是如图 3.9 所示的挡柱式调心滚柱,上分支每隔 10 组、下分支每隔 6～10 组设置一组调心滚柱。它装在可绕中心垂直轴旋转的支架上,并在支架两侧装有两个垂直的滚柱。当输送带跑偏时,碰到某一侧的滚柱(如图 3.11 的挡柱 A),给挡柱以正压力和摩擦力,这两个力相互作用的结果使滚柱支架逆时针转动一个角度 α,这时输送带速与滚柱滚动的圆周速度方向不一致,因而产生相对滑动速度,促使输送带复位。

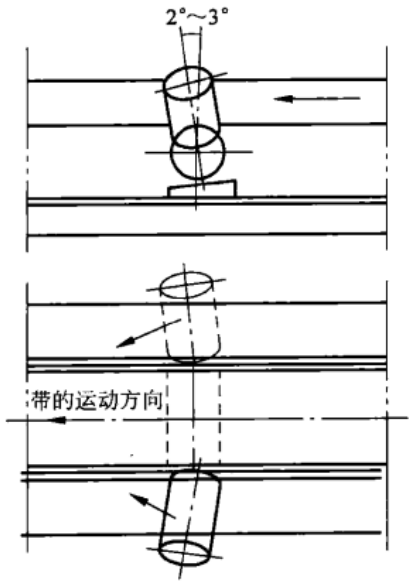


图 3.10 侧滚柱前倾调心滚

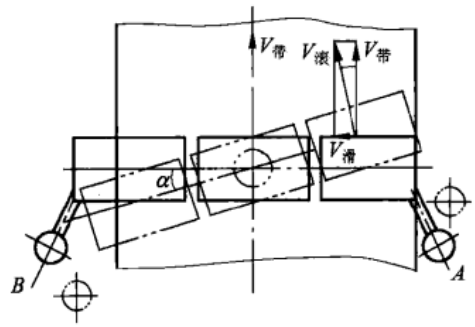


图 3.11 挡柱式调心滚柱工作原理

对于可逆运转的带式输送机,这种滚柱不起调心作用,因为当输送带逆向运行并压向挡柱 A 时,滚柱支架仍逆时针转动。由于输送带的反向引起滚柱速度也反向,结果输送带将越跑越偏。目前,已研制出可逆自动调心滚柱、侧滚柱为锥形的自动调心滚柱等许多新形式调心滚柱。

3. 驱动装置

驱动装置的功用是驱动输送带运动。

驱动装置主要包括动力部分、传动部分(减速器和联轴器)和滚筒部分。

普通带式输送机的驱动装置通过摩擦传递牵引力。动力部分多数采用电动机。对于通用固定式和功率较小的带式输送机,多采用单滚筒驱动,即电动机通过减速器和联轴器带动一个驱动滚筒运转。驱动滚筒通过与带接触表面产生的摩擦力带动输送带运行。传动装置多采用皮带、链条或齿轮传动,还可采用电动滚筒传动。

图 3.12 是电动滚筒的结构图,它把电动机和传动装置都装在驱动滚筒内部,因而结构紧凑、质量轻、便于布置,操作安全。减速器的内齿轮与滚筒外壳作固定连接。当电动机转

动时，通过一套齿轮机构传动内齿轮，驱动滚筒外壳旋转，从而带动输送带。

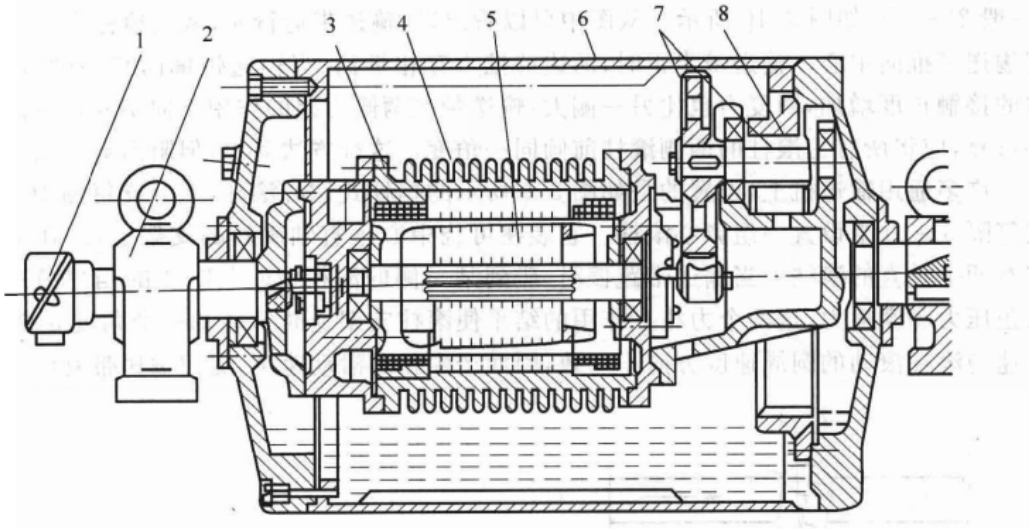


图 3.12 电动滚筒的结构

1—接线盒；2—轴承座；3—电动机外壳；4—电动机定子；5—电动机转子；6—滚筒外壳；7—正齿轮；8—内齿轮

为有效传递牵引力，输送带与驱动滚筒间必须有足够的摩擦力。驱动滚筒分光面和胶面两种，其中光面滚筒摩擦系数较小。在功率不大、环境湿度较小的情况下，宜采用光面滚筒；当环境潮湿、功率较大、容易打滑时，宜采用胶面滚筒。

输送带绕过滚筒时，因发生弯曲作用会引起疲劳损坏，因此，滚筒的直径不能太小。驱动滚筒长度比宽度大 100～200 mm，滚筒直径 D 可用下式计算：

$$D = ki \tag{3.1}$$

式中，D——滚筒直径；

i——输送带衬层数(3～12 层)；

k——对于驱动滚筒取 125～150 mm，非驱动滚筒取 80～125 mm。

滚筒直径 D 应按标准直径选用，如 250 mm，320 mm，400 mm，500 mm，630 mm，800 mm，1000 mm，1250 mm，1400 mm 等。

4. 张紧装置

张紧装置的作用：一是保证带有必要的张力，与滚筒有必要的摩擦力，避免打滑；二是限制带在各种支撑滚柱间的垂度，使其在允许的范围内。

张紧装置的主要结构形式有小车重锤式、垂直重锤式和螺旋式 3 种。

小车重锤式张紧装置是把张紧滚筒装置在一个可在尾架上移动的小车上，由重锤通过滑轮拉紧小车，如图 3.13 所示。它的结构较简单，可保持恒定张力，其大小取决于重锤的质量。缺点是外形尺寸大，占地面积多，适用于长度、功率较大的输送机。

垂直重锤式张紧装置用于小车重锤式布置较困难的场合，如图 3.14 所示。其优点是可利用输送机走廊下面的空间位置，并布置在下分支胶带张力最小的地方，因此可减轻重锤质量；缺点是要增加改向滚筒的数量，增加输送带弯曲次数，且物料容易掉入输送带和张紧滚筒之间而损坏输送带，检修也不方便。

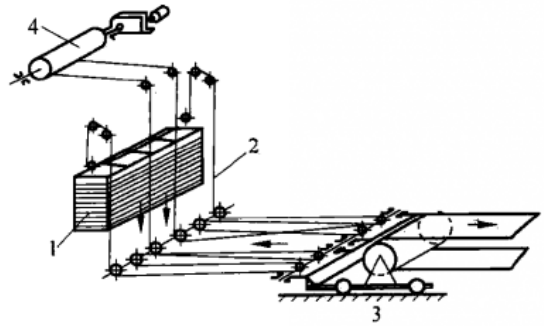


图 3.13 小车重锤式张紧装置

1—重锤；2—滑轮组；3—小车；4—绞车

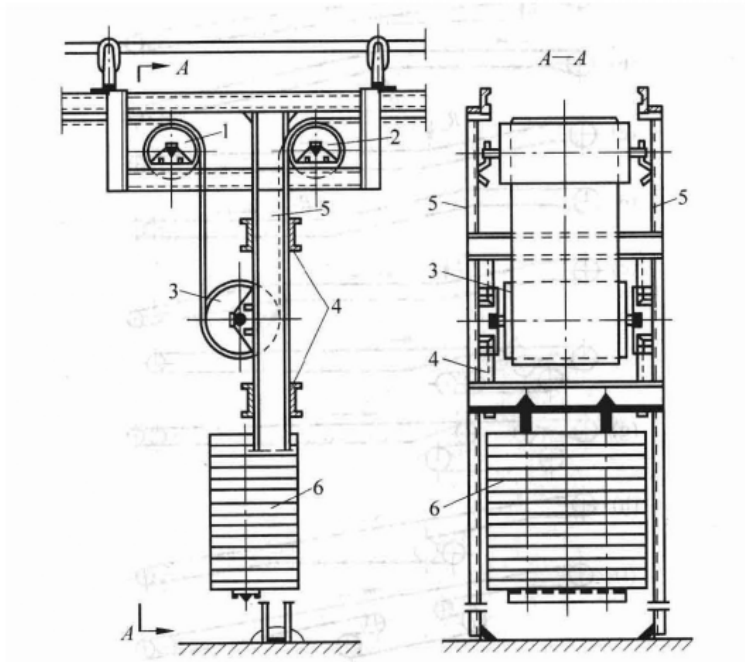


图 3.14 垂直重锤式张紧装置

1、2—导向滚筒；3—张紧滚筒；4—滑架；5—导轨；6—重锤

螺旋式张紧装置利用人力旋转螺杆，使带有螺母的滑架及装在其上的张紧滚筒可沿输送机纵向移动，以调节输送带的张力，如图 3.15 所示。其特点是结构简单，但张紧力大小不易掌握，很难保持恒定，多用于长度小于 80 m，功率较小的输送机上。

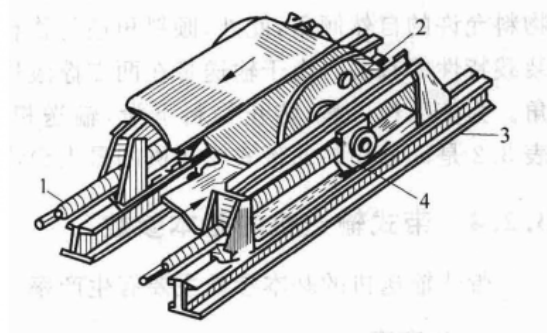


图 3.15 螺旋式张紧装置

1—螺杆；2—滚筒；3—机架；4—可移动的滚动轴承座

5. 制动装置

在倾斜式的带式输送机中，为防止其停车时因物料重力作用而发生反向运动，需在驱动装置中设置制动装置。通常制动装置可分为滚柱逆制器、带式逆制器、电磁瓦块式和液压式电磁制动器。

6. 改向装置

改向装置是用来改变输送方向的装置。在末端改向可采用改向滚筒；在中间改向可采用几个支撑滚柱或改向滚筒。改向滚筒直径一般应大于输送带衬层数的100～125倍，当改向角度小或布置有困难时，取大于衬层数的50倍即可。

3.2.3 带式输送机的布置形式

图3.16是带式输送机的基本布置形式，有水平输送方式、倾斜输送方式和混合输送方式等。

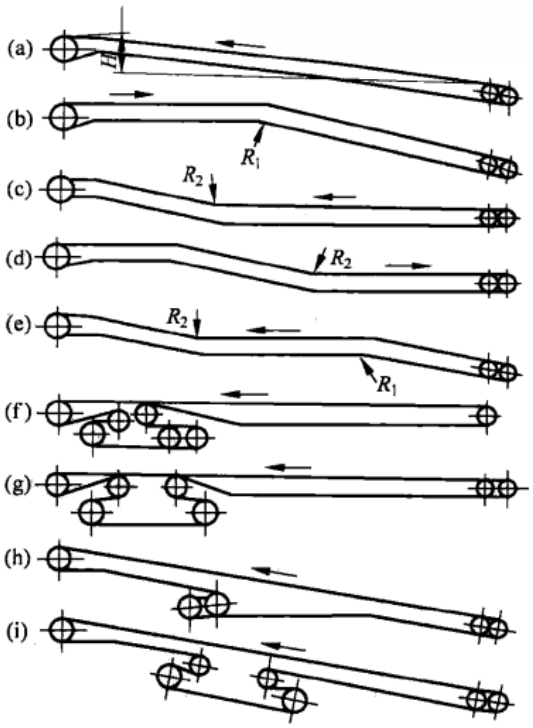


图3.16 带式输送机的布置方式

(a)、(h)、(i) 倾斜输送方式；(b)、(c)、(d)、(e) 水平与倾斜混合输送方式；(f)、(g) 水平输送方式

带式输送机常用在水平面内运送物料，也可以有一定的倾角，但倾斜角不能大于被运送物料允许的自然倾角，此外，倾斜角还与物料和带的摩擦系数、物料静止自然倾角、输送机的装载特性等有关。由于输送带在两支撑滚柱间下垂，输送机的实际倾角要大于几何图形倾角。为使工作可靠，防止物料下滑，输送机的倾角应要比物料对带的摩擦角小7°～10°，表3.2是部分物料的带式输送机的最大允许倾角。

3.2.4 带式输送机的基本参数

带式输送机的基本参数主要有生产率、带宽、输送带运行速度等。

1. 生产率

输送带的生产率常以质量生产率和容积生产率来表示。

表 3.2 带式输送机的最大允许倾角 β_{max}

物料名称	β_{max}/(°)	物料名称	β_{max}/(°)
块煤	18	湿砂	23
原煤	20	干砂	15
筛分后的焦炭	17	未筛分的石块	18
水泥	20	盐	20
混有砾石的砂	18～20	谷物	18

(1) 质量生产率

质量生产率是指输送机单位时间内输送的物料，其计算公式为

$$m = 3.6q/v/g \tag{3.2}$$

式中，m——质量生产率(t/h)；

q——输送带线载荷(N/m)；

v——输送带速度(m/s)；

g——重力加速度(m/s²)。

带式输送机可输送物料情况如图 3.17 所示。当连续输送的散料堆放在输送带上时(见图 3.17(a))，线载荷为

$$q = 100F\gamma = 1000F\rho g \tag{3.3}$$

式中，F——物料堆积的断面面积(m²)；

γ——物料重度(kN/m³)，是指散料在松散堆积状态下单位体积重力；

ρ——物料密度(t/m³)，是指散料在松散堆积状态下单位体积质量。

则带式输送机的质量生产率为

$$m = 3.6 \times 1000F\gamma v/g = 3.6 \times 10^3 F\rho v \tag{3.4}$$

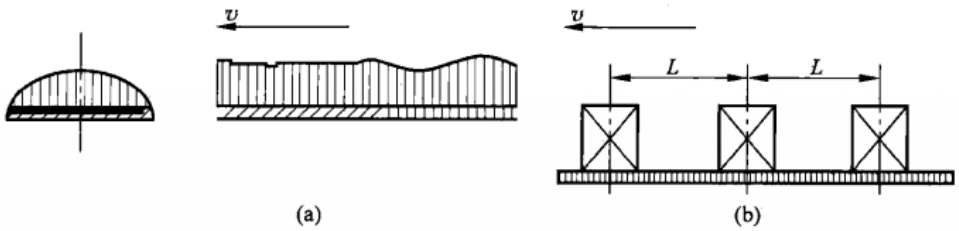


图 3.17 带式输送机输送散料和成件物料线载荷分布示意图

(a) 散料输送线载荷分布示意图；(b) 成件物料输送线载荷分布示意图

当输送成件物料时，如图 3.17(b)所示，物料线载荷 q 为

$$q = G/L \tag{3.5}$$

因而质量生产率为

$$m = 3.6Gv/(Lg) \tag{3.6}$$

式中，G——所运物料单件重力(N)。

(2) 容积生产率

容积生产率指输送机械单位时间内输送物料的体积。由于 $m=V\rho$，代入式(3.4)即得

到输送散料的容积生产率 V 为

$$V = 3.6 \times 10^3 Fv \tag{3.7}$$

在运送成件物料时，设每件物料之间的时间间隔为 $t=L/v$(单位 s)，则以件数计的生产率 Z(件/h)为

$$Z = 3.6 \times 10^3 v/L \tag{3.8}$$

式中，L——成件物料间隔距离(m)。

综上所述，运送散料时，其堆积的断面面积越大，工作速度越高，则生产率越高；对于成件物料，工作速度越高，相邻物料间距越小，生产率越高。

由上述计算所得的生产率仅是理论值，实际工作中，由于物料供应情况不一定是均匀地输送，计算值要 m 大于或等于平均的实际生产率 m_0，其关系为

$$m = km_0 \tag{3.9}$$

式中，k——物料供应的不均系数，$k \geqslant 1$。

2. 带速

带速是指输送带或牵引带在被输送物料前进方向的运行速度。由生产率的计算可知，带速是提高输送机生产率的主要因素。在同样生产率条件下，带速越高，单位长度输送带上的负荷越小，即可减少输送带衬垫的层数，降低输送带成本；同时，带速增加，也可为采用较窄的输送带创造条件，从而使整个输送机械结构紧凑。但带速太大，会使输送带产生较大的横向摆动，加速输送带的磨损，降低输送带的使用寿命。带速选择时应考虑以下因素：

① 输送量较大时，应选较高的带速；

② 输送机倾角越大，输送距离越短，则带速应越低；

③ 物料易滚动、粒度大、磨琢性强的，或易扬尘的及环境卫生条件较高的，宜选较低带速；

④ 用于给料或输送粉尘量大时，带速可取 0.8～1 m/s，具体根据物料特性和工艺要求决定；

⑤ 输送成件物料时，带速一般小于 1.25 m/s；

⑥ 通常情况下，带速与带宽要同时考虑，推荐的关系见表 3.3。

表 3.3 带宽和带速关系

带宽 B/mm	500	650	800	1000	1200	1400
带速 v/(m·s^{-1})	1.25	1.25	2.0	2.5	3.15	4.0

3. 带宽

输送带的宽度要满足输送物料特性、输送量和张力的要求。对于输送单件物料的输送带，其宽度应大于物料的最大宽度；输送散料的带宽与散料粒度关系见表 3.4。

表 3.4 带宽与适宜的最大物料粒度

带宽 B/mm	300	400	500	650	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
已筛分(均匀，全为块料)/mm	50	70	100	130	160	200	240	280	320	360	400
未筛分(10%为块料)/mm	70	100	150	200	270	330	400	460	530	600	670

3.2.5 带式输送机的选用和设计原则

带式输送机的输送带长度受到输送带本身强度和运动稳定性的限制。输送距离越大，所需驱动力越大，输送带所承受的张力也越大，带的强度要求就越高。当输送距离较长时，若安装精度不够，则输送带运行时很容易跑偏成蛇形，带的使用寿命降低。所以采用普通带输送机，单机长度一般不超过 40 m，采用高强度输送带，单机长度可达 10 km。带式输送机的设计选型应遵循如下原则：

① 选择的输送带必须适应该项用途特征；对特殊条件，应选用具有特殊性能的输送带。

② 在进行系统设计时，应认真研究输送量、输送距离、输送速度及输送带宽之间的关系，对整个输送系统做出经济合理的设计，对输送带的宽度做合理的选择。

③ 根据输送带的工作条件，合理确定安全系数，经济合理的选择输送带的带芯材料和层数。

3.2.6 新型带式输送机

1. 钢绳芯胶带输送机

钢绳芯胶带输送机的胶带是以强度极高的钢丝绳代替帆布层做带芯材料，使输送机所能承受的拉力相当于多层普通帆布胶带，因而能实现单机长距离输送，可使系统简化、节省管理费用、提高经济效益，同时减少了物料的破碎及对胶带的冲击、磨损，延长了输送带的使用寿命。带的结构简单，其单层横断面如图 3.18 所示。钢绳芯输送带与普通织物芯胶带相比，有如下优点：

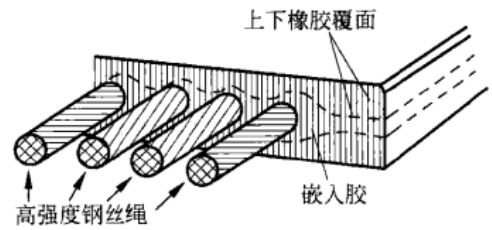


图 3.18 钢绳芯输送带结构图

(1) 抗拉强度高。国产钢绳芯输送带抗拉强度为 400 MPa，国外为 800 MPa，可满足大运量、长距离输送的需要。由于带式输送机爬坡能力较汽车、火车大，采用长距离的钢绳芯胶带输送机，可缩短运输距离、减少建筑工程量、缩短施工时间，节省投资。将该带用于港口连续卸船机的垂直提升部分(牵引构件)，不仅强度符合要求，还可减轻整机的质量。

(2) 横向刚度小，成槽性好，允许增大滚柱槽角，使生产率大大提高，也有利于防止输送带跑偏。

(3) 钢绳芯输送带弹性伸长率小，输送带较薄，耐疲劳和冲击，可采用直径较小的滚筒，减小张紧装置行程，使结构紧凑。钢芯绳输送带的缺点是造价高、接头工艺较复杂，输送带的横向强度低，锐利尖角的物料易造成输送带纵向破裂。同时，因输送带伸长率小，如果在滚筒与胶带间卡进物料，也易使钢丝断裂，因此，要注意解决清扫问题。

2. 大倾角带式输送机

普通胶带输送机倾斜向上输送物料时，不同散料允许的最大倾斜角为 16°～20°。为了提高输送倾角，缩短输送机长度，节省占地面积，近年来生产出多种形式的大倾角带式输送机，如花纹带式输送机、波形挡边带式输送机、双带式输送机等，使允许输送倾角增加。大倾

角带式输送机已应用于港口散货连续卸船机中。花纹输送带的特点是将胶带的承载面制成有各种形状凸块的花纹胶带，靠这些凸块来增加摩擦力，阻挡物料下滑，使输送机许用倾角加大，如图 3.19 所示。

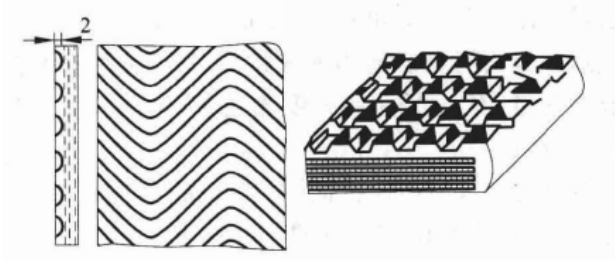


图 3.19 花纹胶带

花纹胶带适用于散料(堆积密度为 0.4～2.5 t/m³)或成件物品，其许用倾角比许用胶带提高约 1.5 倍。由于花纹胶带工作面不易清扫干净，因此，不易采用双滚筒驱动及中间卸料。实验表明，带速增大到一定值后，生产率不再增加，故国产花纹胶带将 2 m/s 定为最大带速。

波形挡边输送带是在普通平胶带两侧装上波形挡边，两挡边之间每隔一定距离有一块横隔板，挡边和横隔板使输送带上形成格状料斗，既增大了物料装载量，又可在大倾角甚至垂直方向上输送物料，如图 3.20 所示。波形挡边带式输送机在国外已得到了广泛的应用，多用于散货连续卸船机和散货自卸船中。

双带式输送机是用两条平行的输送带夹持散货或件货进行大倾角的运输，最大倾角可达 90°，如图 3.21 所示。

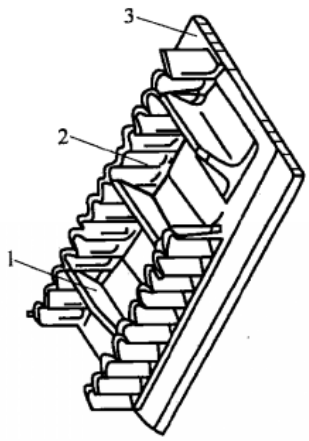


图 3.20 波形挡边输送带

1—横隔板；2—波形挡边；3—输送带

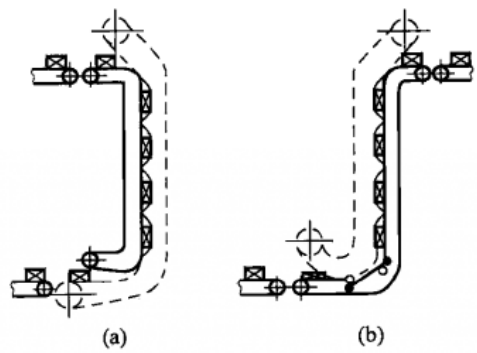


图 3.21 双带式输送机

(a) C 形机；(b) Z 形机

双带式输送机利用两条同步同向运行的输送带，把物件夹持在中间，进行垂直向上或向下的输送。其中，C 形机的货物进出方向在输送机的同一侧(见图 3.21(a))。Z 形机的货物进出方向在输送机的两侧(见图 3.21(b))。图中虚线表示弹性带，实线表示橡胶带。实际应用证明，双带式输送机占地面积小，对于运送物件的形状和质量具有广泛的适应性。C 形结构的缺点是下部由弹性带承载货物，容易损伤弹性带或造成货物陷入带中被卡住；若改用

Z形结构，货物始终由橡胶带承载，则可克服C形结构缺点。

3. 中间带驱动的带式输送机

中间带驱动的带式输送机是在一台长距离的带式输送机的中间，再安装几台较长的胶带机。用两条紧贴在一起的胶带之间产生的摩擦力，驱动长距离胶带输送机，图3.22示出了该系统的几种结构形式。图(a)为中间带驱动；图(b)为中间带驱动加头部滚筒驱动；图(c)为中间带驱动加头尾部滚筒驱动；图(d)为系统中上下分支均有中间带驱动。中间带驱动可以大幅度降低长距离输送带的张力；因动力源的多点布置，可避免滚动驱动的输送带在进入驱动滚筒前张力特别大的现象，这样就可以降低对胶带强度的要求，使带厚、装备质量以及滚筒直径和传动机构尺寸减小，降低系统成本，提高经济效益；同时，输送带的寿命可显著提高，因为避免了多滚筒驱动的多次弯曲，同时物料不需转载也可减少对胶带的磨损和冲击。中间驱动的缺点是：因为有附加的驱动带，用带量增加；空载时或间断性供料时，中间驱动装置的牵引能力降低，一旦过载将出现胶带打滑；输送机上各段载荷出现不均匀的情况，各驱动段的负载不同，需对驱动电动机进行自动控制。

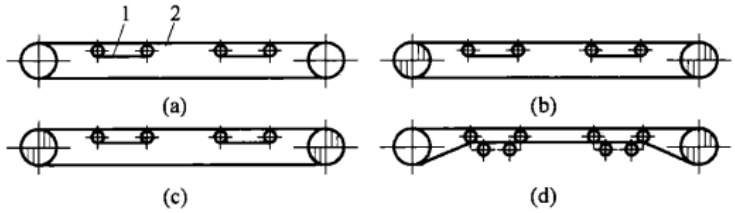


图3.22 中间带驱动的带式输送机

1—驱动胶带；2—承载胶带

中间带驱动带式输送机，在我国上海港煤炭装卸公司已使用十多年，单机长度410 m，带宽1 m，中间部分长度为15 m的驱动输送机，总驱动功率为210 kW，生产效率为1000 t/h，是可逆式输送机。

4. 气垫带式输送机

气垫带式输送机用托槽支撑输送带，在托槽与输送带之间有一定厚度的空气层作为滑动摩擦的“润滑剂”，使运动阻力减小，其结构如图3.23所示。

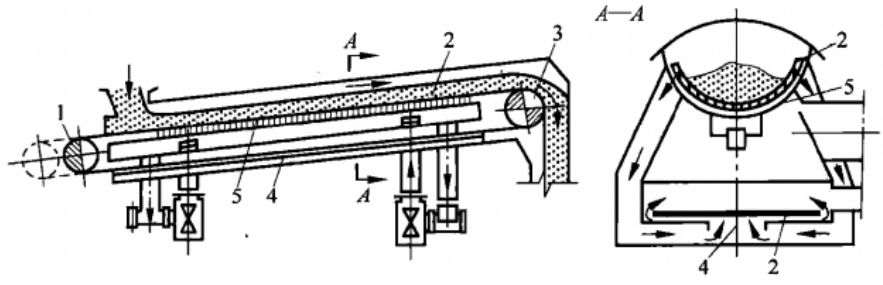


图3.23 气垫带式输送机

1—张紧装置；2—胶带；3—驱动滚筒；4、5—气室

空气层是由鼓风机将只有一定压力的气流送入气室(气室的顶部即为输送带的托槽)，当气流沿气室纵长分布并由托格上的小孔流出时，在胶带与托槽之间形成的。目前，这种输

送机已在大连、天津港散粮码头使用。

气垫带式输送机的优点是：可以节省大量的支撑滚柱滚动轴承，运转部件少，维修费用低；运行阻力小，使输送带张力减小；能量消耗降低，适于采用较高的带速；全长有托槽支撑，可采用较薄的轻型输送带，降低了用胶量和造价；弧形断面的托槽使物料在运输过程中处于稳定状态，不需要设置防止输送带跑偏的装置，适于可逆运转。缺点是：气垫式输送机不适于输送少块物料，因为块料和相对密度大的物料有较大的集中载荷，会使局部区段气膜破坏，增加磨损和加大功率。

5. 管形带式输送机

普通带式输送机都是直线输送的，不能在水平面内转弯；而吊挂管状带式输送机则可沿空间曲线，绕过沿途的各种障碍，完成输送任务。它有一条特殊的胶带，胶带在带式输送机头部滚筒和尾部滚筒处展平，像普通带式输送机一样，由驱动滚筒靠摩擦力来驱动。加料后，通过一系列导向滚筒，胶带逐渐封闭成管状，胶带的侧边有特殊的凸缘，闭合后可以被吊具锁住。吊具上有滚轮，在工字钢轨道上运行，互相之间用钢绳连接。保持一定的间距，如图 3.24 所示。

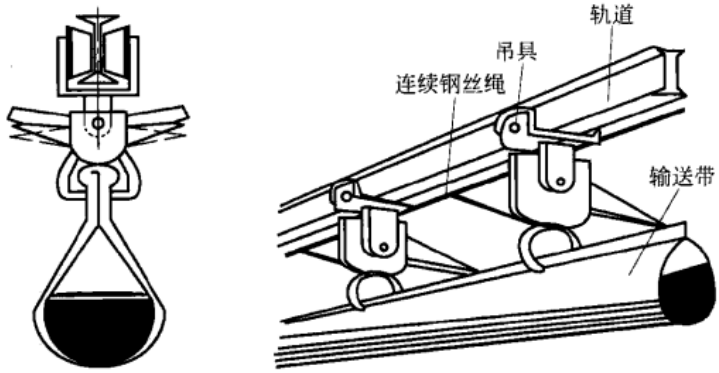


图 3.24 吊柱管状带式输送机

吊具靠弹簧夹紧胶带，并把胶带和物料的质量传给工字钢轨道，起着支撑的作用。在卸料时，吊具被导向轮强制打开，脱离胶带，胶带展平后在滚筒处卸料。这种带式输送机的往复两个分支都是吊挂管状的，其吊挂形式有多种，如图 3.25 所示。

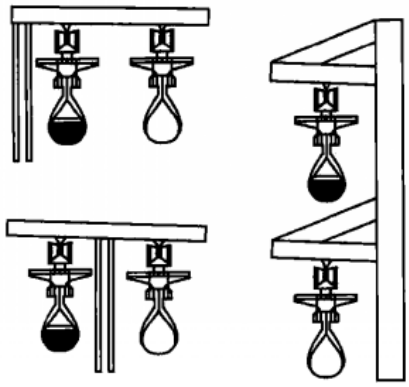


图 3.25 吊挂形式示意图

管形带式输送机可以实现两个分支双向输送物料，实现大倾角(30°～40°)输送，不会出现胶带跑偏等事故。输送线上没有滚柱等易损零件，可集中在一个位置检修吊具，大大简化了维修工作。由于是钢轮在铁轨上运动，因此，运行阻力小，功率消耗少。

管形带式输送机是在普通槽形带式输送机的基础上发展起来的一种新型结构，已在日本等许多国家使用，我国目前正在研制。

这种管形带式输送机的主要优点如下：

① 胶带在输送段呈管形，物料处在封闭的管状胶带中输送，即使采用较高的带速，粉粒物料也不会在输送途中飞扬、洒落、溢出，因而不污染环境，也不受外界杂质和气候影响；

② 胶带呈管形，在水平和垂直平面内均可挠曲，可沿空间曲线布置，绕过各种障碍，因而可以曲线运行输送；

③ 胶带在输送量相同的条件下，管形胶带断面尺寸小，约为一般带式输送机的 1/3，占地少，且回程输送带也可卷成管形进行反方向输送；

④ 管形胶带增大了物料与胶带的摩擦力，可实现大倾角输送，根据不同物料的性质，最大输送角可达 30°～40°；

⑤ 输送线上没有滚柱等易损零件，可集中在一个地方检修吊具，简化了维修工作。

管形带式输送机的缺点是对超载敏感。超载运行将使输送带胀出而增加阻力，并阻碍其平稳运行，因而输送量必须在装料闸门处加以控制，使之不超过管形截面的 75%。

3.3 滚筒输送机

滚筒输送机也称滚柱输送机或辊子输送机，是由一系列有一定间距的滚筒（辊子）排列组成，沿水平方向或较小倾斜方向运送成件物料（或托盘）的输送机。滚筒输送机所运送的物料一般具有平直的底部作支撑面，如板、棒、型材、托盘、箱类容器以及具有平底的各种工件。对于非平底物料及柔性物料，可借助托盘实现输送。一般为了保证输送物料稳定、连续支撑，滚筒的间距应小于物料支撑面长度的 1/4，滚筒支撑数与物料稳定性的关系为：运输硬底物品至少同时覆盖 3 只滚筒，而运送柔软物品至少覆盖 4 只以上滚筒。滚筒的材料多由钢管制成，也可采用塑料或铝合金（轻载）。

滚筒输送机在生产流水线中大量采用，它不仅可连接生产工艺过程，还可直接参与生产工艺过程，因而在冶金、机械、电子、化工、轻工、家电、食品、纺织、邮电等行业和部门的物流系统中，尤其在各种加工、装配、包装、储运、分配等现代装备传输系统中得到广泛的应用。

3.3.1 滚筒输送机的特点

滚筒输送机是一种没有挠性牵引构件的输送机，与其他输送机相比，除了具有结构简单、运转可靠、维护方便、经济、节能等特点外，最突出的就是它与生产工艺过程能较好地衔接和配套，并有功能的多样性，具体表现在：

（1）布置灵活，容易分段和连接，可以根据需要，由直线、圆弧、水平、倾斜、分支、合流等区段以及辅助装置，组成开式、闭式，平面、立体等各种形式的输送线。

（2）功能多样，可以按无动力式、动力式、积放式等多种输送方式输送或积存物料，可以在输送过程中升降、移动、翻转物料；可以结合辅助装置，按直角、平行、上下等方式实现物料在滚筒输送机之间或滚筒输送机和其他输送机之间的转运。

（3）便于和工艺设备衔接配套，衔接方式简易紧凑，有时可直接作为工艺设备的物料输入输出段；辊子间的空隙部位便于布置各种装置和设备。

（4）物料输送平稳，停靠精确，便于对输送过程中的物料进行加工、装配、试验、分拣、包装、储存等各种工艺性操作，便于对输送过程实现自动控制。

（5）两台滚筒输送机的连接尺寸小，可以传运较小尺寸的物料。

（6）双排或数排滚筒输送机可以并排组成大宽度滚筒输送机，以运送大型成件物料。

（7）允许输送高温物料。

(8) 滚筒输送机标准化、系列化、通用化程度高，易于拼装组成不同的传输系统。

3.3.2 滚筒输送机的分类和结构

滚筒输送机的种类有很多，通常可分为无动力式和动力式两种。

1. 无动力滚筒输送机

无动力滚筒输送机自身无驱动装置，其结构见图 3.26，滚筒转动呈被动状态，物料依靠人力、重力或外部推拉装置输送。按布置方式分水平和倾斜两种。

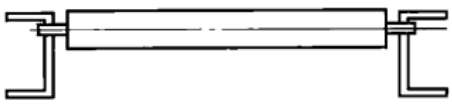


图 3.26 无动力式滚筒输送机结构

水平布置依靠人力或外部推拉装置移动物料，其中，人力推动用于物料重量轻、输送距离短、工作不频繁的场合；外部推拉采用链条牵引、胶带牵引、液压气动装置推拉等方式，可以按要求的速度移动物料，便于控制运行状态，需要时还可以实现步移、积放等功能，用于物料重量大、输送距离长、工作比较频繁的场合。

倾斜布置依靠物料重力进行输送，优点是结构简单，不消耗能源，经济实用；缺点是不易控制物料输送状态，物料之间易发生撞击，不宜输送易碎物料，适用于工序间短距离输送及重力式高架仓库。如输送距离较长，必须分成几段，在每段的终点升降台把物料提升一定高度，使物料再次沿重力式辊道输送。

2. 动力式滚筒输送机

动力式滚筒输送机本身有驱动装置(电动机驱动)，滚筒转动呈主动状态，可以严格控制物料运行状态，按规定的速度和精度平稳而可靠地输送物料，便于实现输送过程的自动控制。动力式滚筒输送机按驱动方式分为带驱动式、锥齿轮驱动、链条驱动、电动机驱动。

1) 带驱动滚筒输送机

带驱动滚筒输送机又可分为平带驱动、V 带驱动、圆带驱动和同步带驱动。

(1) 平带驱动滚筒输送机

图 3.27 是平带驱动滚筒输送机结构示意图。在平带上安装了许多承载滚筒，下方装有调节平带松紧的压力滚筒。承载滚筒的选择和间隔大小与承载物料尺寸、重量有关。位于两承载滚筒之间的压力滚筒可上下调整，从而达到调整带驱动力的目的。因带宽与实际输

图 3.28 所示为直线带输送机及技术参数，是当前较先进的平带驱动滚筒输送机；图 3.29 为当前较常用的倾斜式平带驱动滚筒输送机及技术参数，其倾斜角度一般在 2°以下。如大于这一倾角，物料在起点或停止时有倾倒的危险。

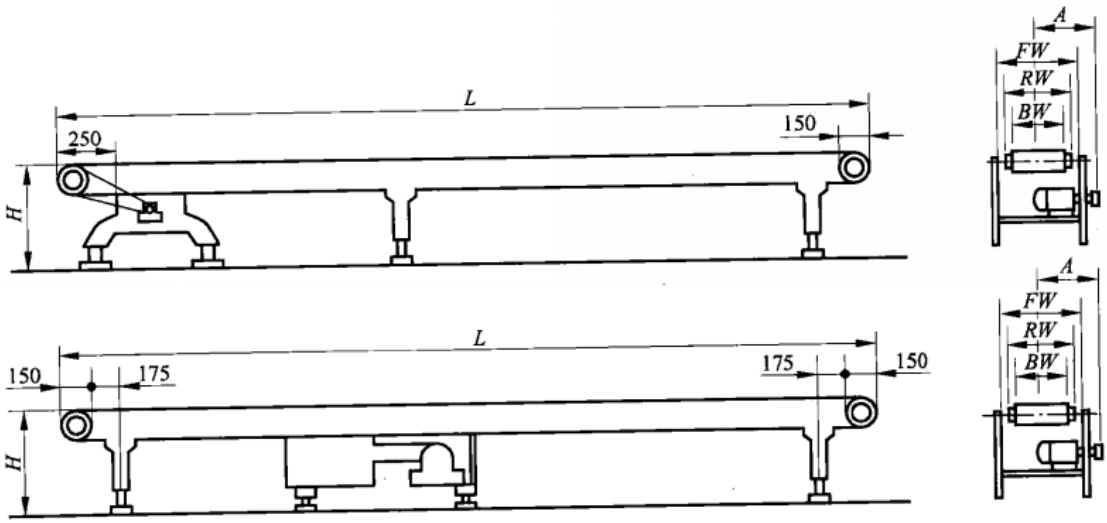


图 3.28 直线带输送机

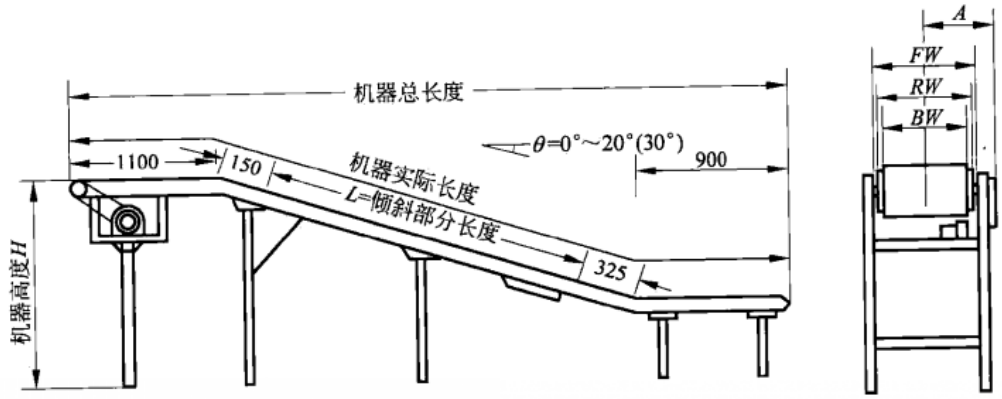


图 3.29 倾斜式平带驱动滚筒输送机

(2) V 带驱动滚筒输送机

V 带驱动滚筒输送机驱动方式同平带相同，不同之处在于把平带改成 V 带，主要用于轻负载短距离输送作业。因为 V 带可沿曲线弹性形变，这种驱动方式还可用于输送线的转弯和结合部。

(3) 同步带驱动滚筒输送机

同步带驱动滚筒输送机适用于轻负载的输送工作。由于各滚筒上的工程塑料齿轮配合同步带传动，不但所占空间较小，而且噪声也小。

(4) 圆带驱动滚筒输送机

圆带驱动滚筒输送机是目前较先进的中等载荷的滚筒输送机。如图 3.30 所示，它的传动是电动机通过减速机、链轮链条把运动传给线轴上的链轮，再通过线轴上的圆带轮和圆带传给各滚筒。其优点是干净卫生、安全可靠、成本低、噪声小(比其他输送机噪声

小35%)。输送机输送速度高(可达 60 m/min),可以组合成各种圆弧角度的分支与合流的输送线。

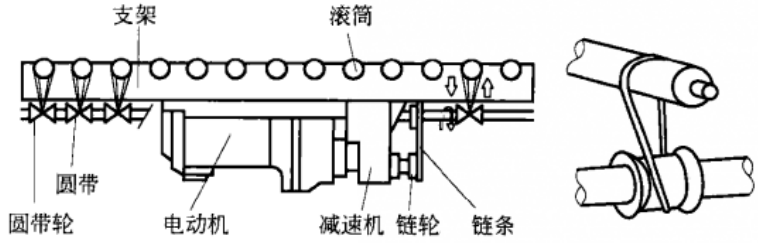


图 3.30 圆带驱动滚筒输送机

2) 锥齿轮驱动滚筒输送机

图 3.31 所示为锥齿轮驱动滚筒输送机,这种输送机负载能力大,但由于输送机侧面安装有驱动齿轮,在宽度方向所占空间较大。为保证安全生产,必须加安全罩,在需要转弯输送的情况下,转弯处驱动锥齿轮之间需采用万向节,如图 3.32 所示。

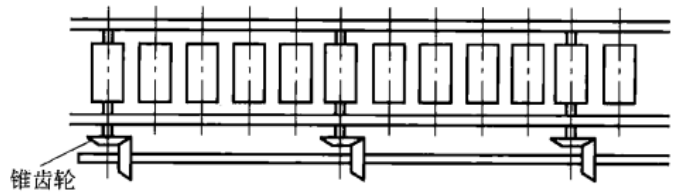


图 3.31 锥齿轮驱动滚筒输送机

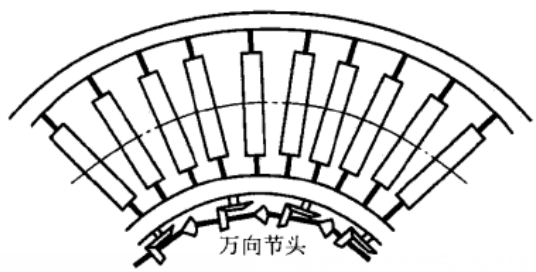


图 3.32 转弯时用万向节头连接主动轮

3) 链条驱动滚筒输送机

图 3.33(a)是链条驱动的滚筒输送机结构示意图。这种输送机承载能力大,通用性好,布置方便,对环境适应性强,可在经常接触油、水及湿度较高的地方工作,但在多尘环境中工作时链条容易磨损,高速运行时噪声较大。

链条驱动可分为单链式和双链式驱动。单链式驱动结构布置紧凑,适用于轻载、低速、持续运行的场合,见图 3.33(b);双链式驱动适用于载荷较大、速度较高、启动和制动比较频繁的场合,见图 3.33(c)。

4) 电动机驱动滚筒输送机

如图 3.34 所示,每个驱动滚筒都配备一台电动机和一台减速机单独驱动(或直接用电动滚筒),由于每个驱动滚筒自成系统,故更换维修比较方便,但费用较高。实际使用中,每隔几根无动力滚筒才安装一根驱动滚筒。

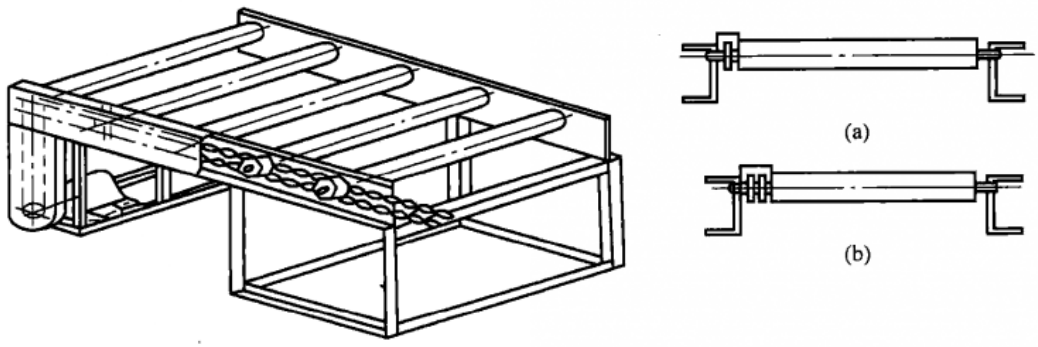


图 3.33 链条驱动滚筒输送机

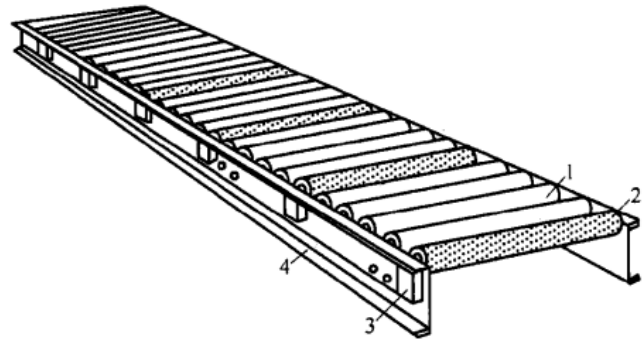


图 3.34 电动机驱动滚筒输送机

1—被动滚筒；2—驱动滚筒；3—电动机；4—滚筒支架

3. 其他分类形式

1）限力式滚筒输送机

限力式滚筒输送机的滚筒内部具有轴向摩擦片或径向摩擦环，一般输送情况下起传递力矩作用，在物料受阻停止和积存的情况下，因运行阻力矩超过限定的滚筒工作力矩，可使摩擦片(环)打滑。滚筒的输送力矩略高于正常输送时的运行阻力矩，其结构见图 3.35。

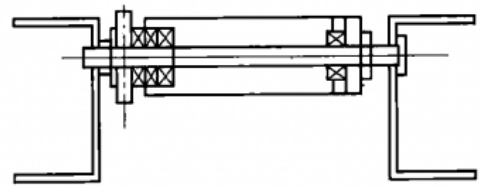


图 3.35 限力式滚筒输送机

限力式滚筒输送机除具有一般动力式输送机的输送性能外，还允许在驱动装置照常运行的情况下，物料在滚筒输送机上停止和积存，而运行阻力无明显增加。限力式滚筒输送机适用于滚筒输送线路中需要物料暂时停留和积存的区段。

2）超越式滚筒输送机

超越式滚筒输送机带有超越离合器，允许物料进入滚筒输送机的速度与输送机的运行速度不一致，而不产生滑动，其结构如图 3.36 所示。它适用于与机动式滚筒输送机配套，作为物料承载区段。

3）圆柱形滚筒输送机

圆柱形滚筒输送机的滚筒成圆柱状，通用性好，可以输送具有平直底部的物料，允许物料的宽度在较大范围内变动，一般用滚筒输送机直线段，其结构见图 3.37。

4）圆锥形滚筒输送机

圆锥形滚筒输送机结构见图 3.38，用于输送机线路圆弧段，多与圆柱形滚筒输送机直线段配套使用，可以避免物料在圆弧段运行时发生滑动和错位现象，保持正常方位。

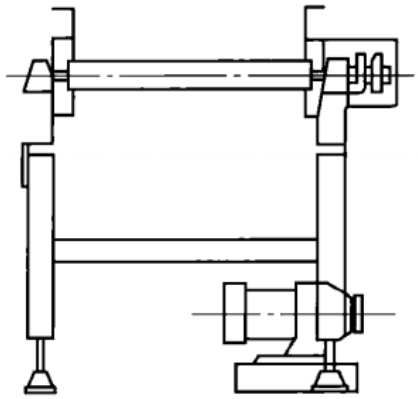


图 3.36　超越式滚筒输送机

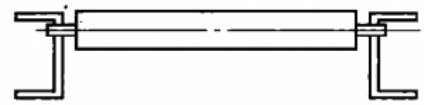


图 3.37　圆柱形滚筒输送机

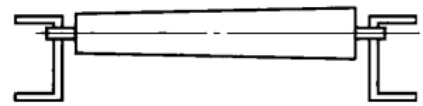


图 3.38　圆锥形滚筒输送机

5）轮形滚筒输送机

轮形滚筒输送机的滚筒成轮形，自身重量轻，运行阻力小，分边辊和多辊两类，结构如图 3.39 所示。边辊输送机滚筒沿机架两侧布置，输送机中间部位可以布置其他设备，适用于输送底部刚度大的物料。滚筒无轮缘的边辊输送机要求物料宽度大于轮间宽度；有轮缘的边辊输送机具有导向作用，多用于专用生产线。多辊输送机结构轻便，可以做滚筒输送机直线段和圆弧段，分直列式和交错式。交错式通用性好，既可作直线段，又可作圆弧段；直列式多用于立体仓库多层货架的滚道。为使物料输送平稳，任何时候一个物料最少有分布在三根轴上的 5 个滚轮支撑，如图 3.40 所示。

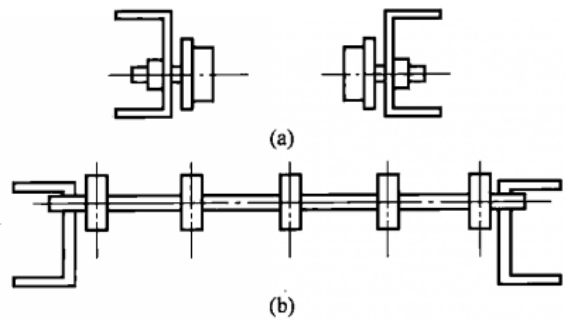


图 3.39　轮形滚筒输送机

（a）边辊输送机；（b）多辊输送机

6）定轴式滚筒输送机

定轴式滚筒输送机的滚筒绕定轴旋转，滚筒转动部分自重轻，运行阻力小，滚筒与机架整体组装性好，是通用的滚筒支承形式，其结构见图 3.41。

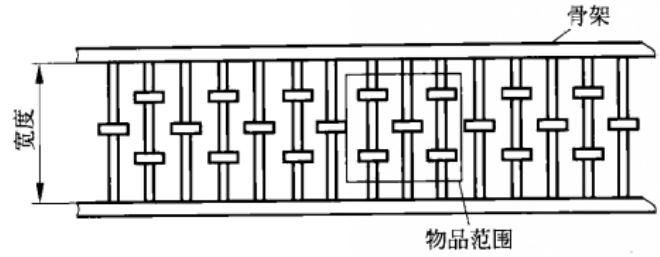


图 3.40 物品至少有 5 个滚轮支撑

7）转轴式滚筒输送机

转轴式滚筒输送机的滚筒与轴一起旋转，转轴支承在两端的轴承座内，便于安装、调整、拆卸，多用于重载和运转精度较高的场合，其结构见图 3.42。

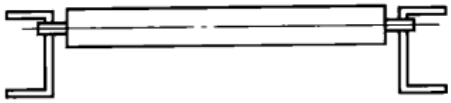


图 3.41 定轴式滚筒输送机

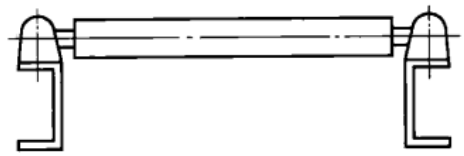


图 3.42 转轴式滚筒输送机

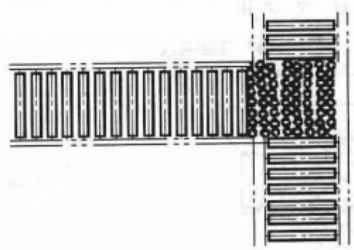
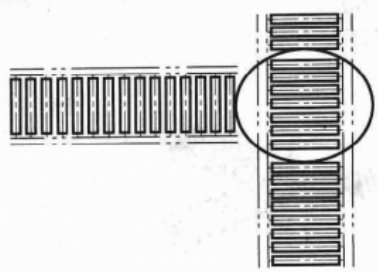
3.3.3 滚筒输送机的换向装置

在比较复杂的滚筒输送机线路系统中，当相邻区段滚筒输送机成垂直、平行、上下等布置形式时，物料一般需要通过相应的换向装置进行转运，实现物料的集中或分流。

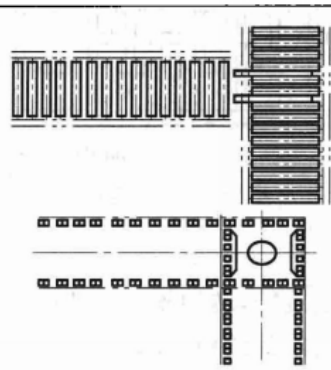
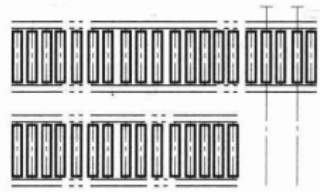
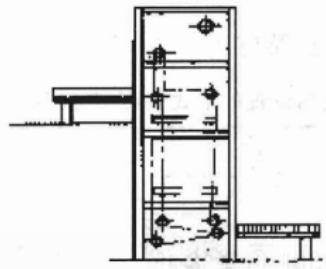
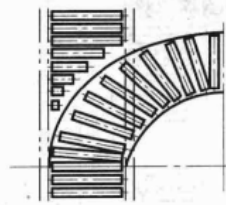
1. 换向装置

表 3.5 列出了换向装置的形式、特点及应用。

表 3.5 换向装置的形式、特点及应用

转运方式	辅助装置形式	结构简图	特点及应用
垂直转运	万向球台		万向球台台面有可以各向转动的钢球。物品依靠人力或机械力的推动，可在台面上作任意方向的移动和转动。适用于转运质量轻、输送量少的平底物品
垂直转运	转台		转台台面设有圆柱形长辊，物品进入转台后，随转台作 90°旋转后改变物品输送方向，转运前后的座向一致，宽度不变 转台分机动和手动，分别与动力方式和无动力式辊子输送机配套使用

续表

转运方式	辅助装置形式	结构简图	特点及应用
垂直转运	升降转运台		物品相对于输送方向的位置在转运前后改变了90°，因此要考虑物品转运后宽度变化对辊子输送机线路输送宽度的影响 常用的升降转运台分链式和辊式两种，分别与圆柱形辊子输送机和边辊输送机配套使用
平行转运	转运小车		转运车轨道与辊子输送机呈直角布置，转运车沿轨道运行，可以在多台平行布置的辊子输送机之间转运物品。按台面辊子和行走机构的驱动方式，分手动和机动，分别与无动力式移动方式辊子输送机配套使用，其台面辊子形成与所配套的辊子输送机相一致
上下转运	升降段		升降段是辊子输送机线路中可以升降的区段，用于高差较小的两层辊子输送机之间的转运
	升降输送机		升降输送机只有输入、提升和输出机构，适用于在不同楼层的辊子输送机之间的转运
岔道转运	固定式岔道		固定式岔道结构简单，布置紧凑，可以连续地通过物品，但物品通过岔道时存在滑动和错位，适用于轻载，固定式岔道按其作用方式分手动和机动，分别与无动力式和动力式辊子输送机配套使用
	活动式岔道		在机动式岔道中，经常采用转向器帮助物品转向，采用通行控制器控制岔道合流处物品的流向 活动式岔道可以改变物品通过岔道时发生的滑动和错位现象，但结构比较复杂，多用于重载

2. 十字交叉(垂直)转运装置

平面上十字交叉的滚筒输送机一般都要采用专用的转运装置。直接转运既费力又会使滚筒磨损严重,所以只有当物料较轻时,才采用直接转运方式。常用的转运装置有以下几种。

1) 辊子回转台

如图 3.43 所示,辊子回转台是在可回转的支座上装有辊子排的支架。当需要改变物料的输送方向时,将从一条滚筒输送机运来的物料输送到辊子回转台上,辊子回转台回转 90°后,将物料转运到另一条滚筒输送机。

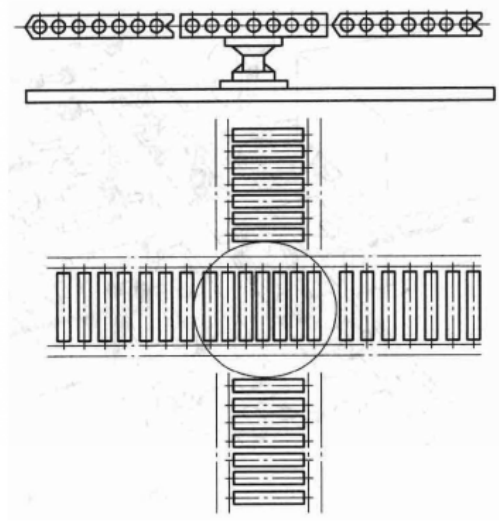


图 3.43 辊子回转台

2) 滚珠回转台

滚珠回转台又称万向球台,在支座上装有若干相互交错的滚珠,利用滚珠能沿任意方向转动的特点,可改变物料的输送方向,如图 3.44 所示。

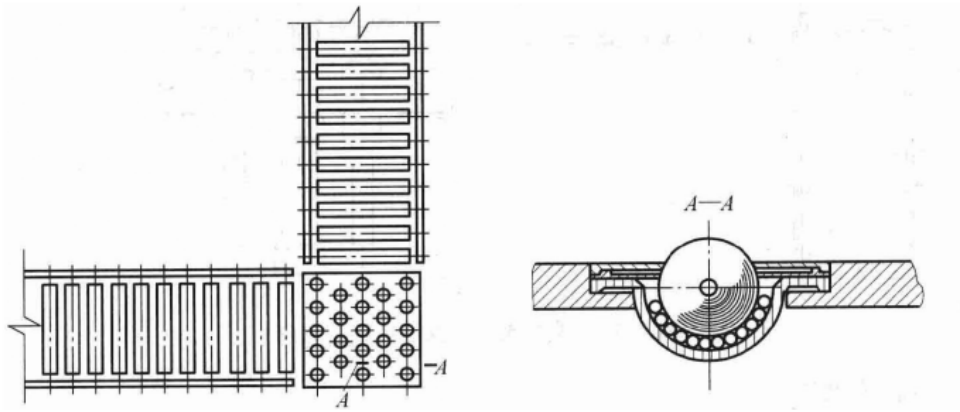


图 3.44 滚珠回转台

3) 具有特殊构造的辊子转运机构

如图 3.45 所示,在滚筒输送机的交叉处,相互交错地安装有若干短辊,在每一个短辊的圆周上均匀地布置若干能转动的小辊柱,依靠短辊及其上的小辊柱的转动方向相互垂直,从而实现物料的转运。

3. 辊道式升降台

不在同一平面的滚筒输送机间的转运需要利用升降台来进行。常用的有气动式和液压式升降台,分别由起升汽缸或液压缸和带有辊子排的机架组成,如图 3.46 所示。通常情况下,升降与改变输送方向是同时进行的,形成升降转运台。

4. 岔道转运装置

同一平面内的一条滚筒输送机向另两条不同的滚筒输送机转运时,通常采用岔道结构。常用的有翻转式岔道和摆动式岔道两种。

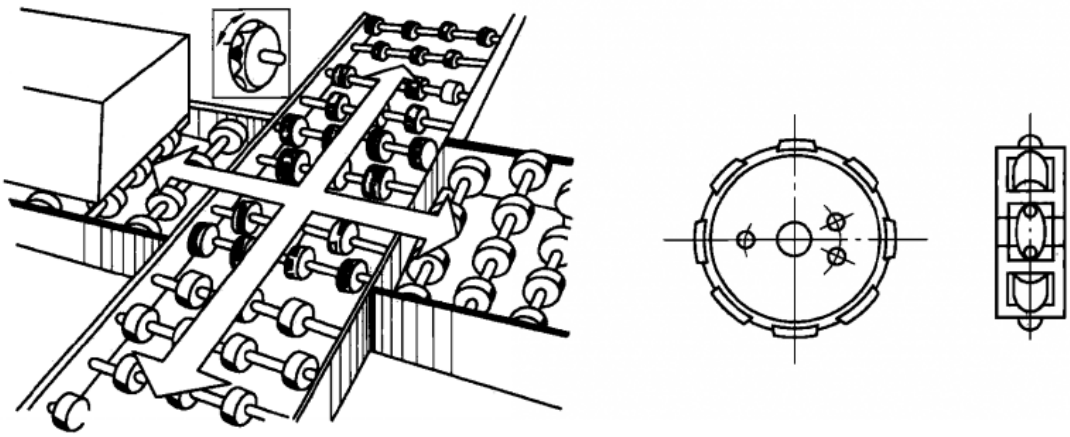


图 3.45 具有特殊构造的辊子转运机构

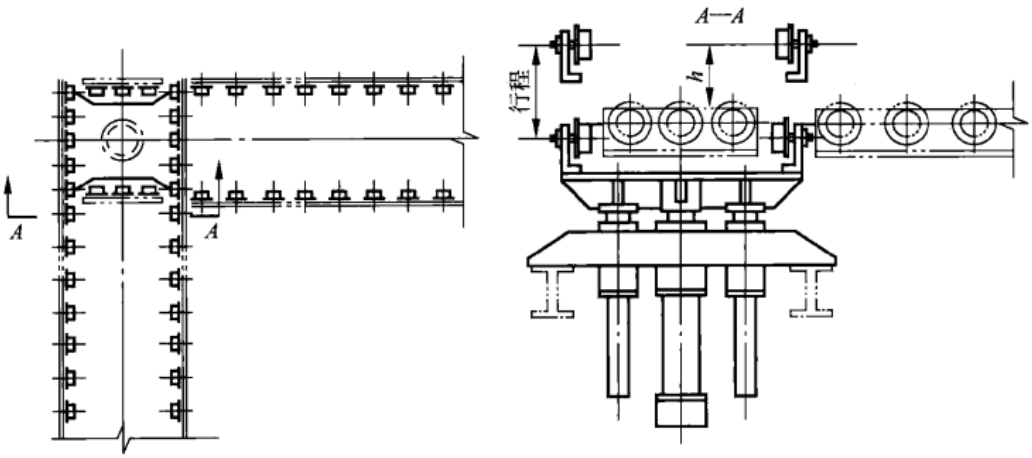


图 3.46 垂直式气动或液压辊道升降台

1）翻转式岔道

如图 3.47 所示，在翻转架的上、下分别装有圆弧段和直线段辊子排，翻转架能绕轴

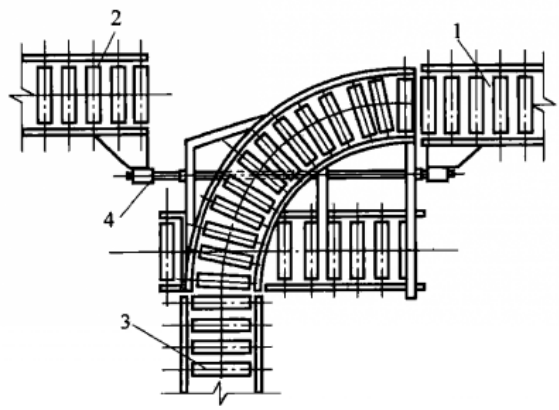


图 3.47 翻转式岔道

1～3—滚筒输送机；4—轴

4 座 180°翻转。当物料要从滚筒输送机 1 转运至滚筒输送机 3，则利用翻转架上的圆弧段；当物料要从滚筒输送机 1 转运至滚筒输送机 2，把翻转架翻转 180°，再利用翻转架上的直线段。

2）摆动式岔道

如图 3.48 所示，这种岔道是将一段直线辊子道制成一端用铰销固定，另一端可摆动，当物料要从滚筒输送机 1 转运至滚筒输送机 2 或 3 时，只需摆动段扳到相应的位置即可。

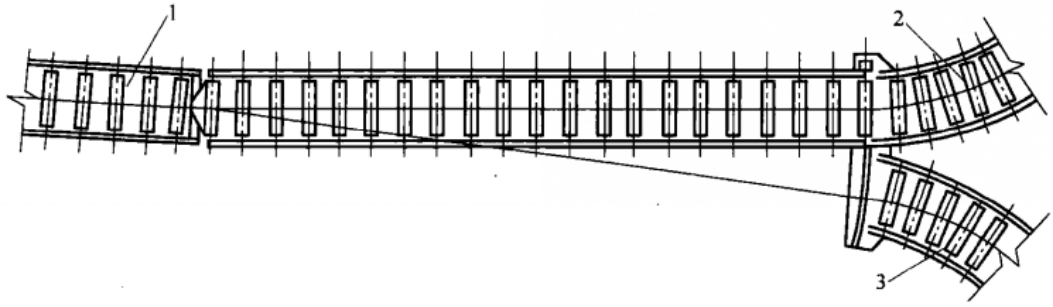


图 3.48 摆动式岔道

1～3—滚筒输送机

5. 升降输送机

如图 3.49 所示，升降输送机具有输入、提升和输出机构，适用布置在不同楼层的滚筒输送机之间转运。它可分为单盘和多盘两种形式。单盘升降输送机为间歇工作，适用负载大而工作不频繁的场合；多盘升降机为连续运行，适用物料转运频繁的场合。

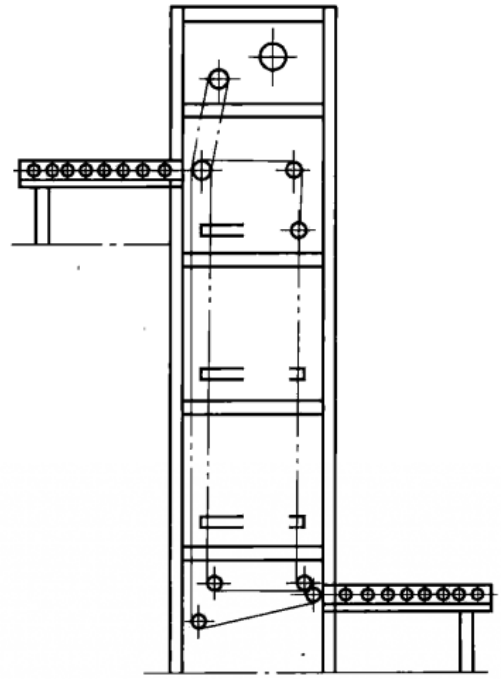


图 3.49 升降输送机

6. 转运小车

当多台滚筒输送机成平行布置，可采用转运小车完成滚筒输送机之间的物料转运。如图 3.50 所示，转运车轨道与滚筒输送机成直角布置，转运车沿轨道运行，其台面上装有与滚筒输送机参数相同的辊子排。根据需要将转运小车停靠在不同的滚筒输送机的线路上，完成物料的转运。转运小车分长辊转运小车(图 3.50(a))和短辊转运小车(图 3.50(b))。

3.3.4 滚筒输送机有关参数的计算

为选择或设计符合实际需要的输送机，需要确定滚筒输送机的相关参数。

1. 原始数据的确定

在进行滚筒输送机基本参数的选择前，首先要搞清楚一些基本的原始参数。这些原始参数包括：

① 滚筒输送机的形式、长度以及布置方式。

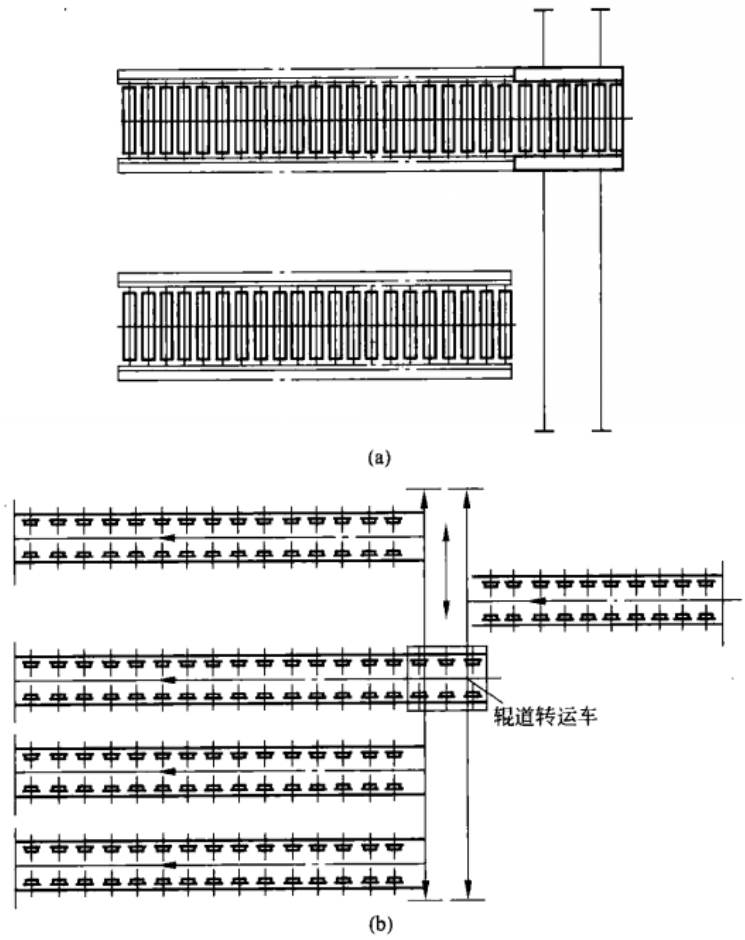


图 3.50 转运小车

(a) 长辊转运小车；(b) 短辊转运小车

② 输送量(单位时间内输送物料的件数)、输送速度、载荷在滚筒输送机上的分布情况。

③ 单个物料的质量、外包装形式、材质、外形尺寸等。

2. 基本参数的确定

1) 滚筒长度

包括直线段长度和圆弧段长度。

(1) 滚筒输送机直线段长度

圆柱形单滚筒输送机直线段长度可参照图 3.51，确定按如下方法：

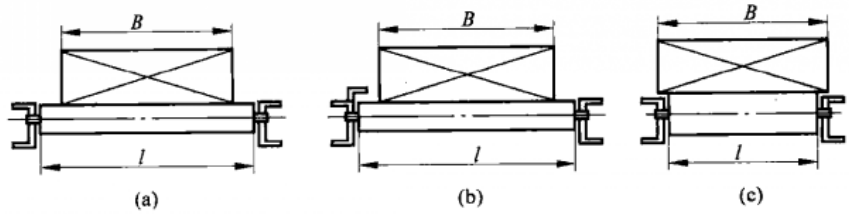


图 3.51 单滚筒输送机直线段横截面

(a) $l>B$；(b) $l>B$，带挡块；(c) $l\geqslant 0.8B$

$$l = B + \Delta B \tag{3.10}$$

式中，B——被输送物料的宽度；

ΔB——宽度裕量，一般取 50～150 mm。

对于底部刚度很大的物料，在不影响正常输送和安全的情况下，物料的宽度可大于滚筒长度，如图 3.51(c)所示，一般可取 $l \geqslant 0.8B$。

对于采用短滚筒多滚筒输送机，其输送机宽度的确定可参照图 3.52 所示。图中 W 为输送机宽度(单位为 mm)，其值为

$$W = B + \Delta B \tag{3.11}$$

式中符号意义同上，一般可取 $\Delta B = 50$ mm。当滚筒少于 4 列时，如图 3.52(a)所示，只适宜于输送刚度大的平底物料，物料宽度应大于输送机宽度，可取 $W = (0.7 \sim 0.8)B$。

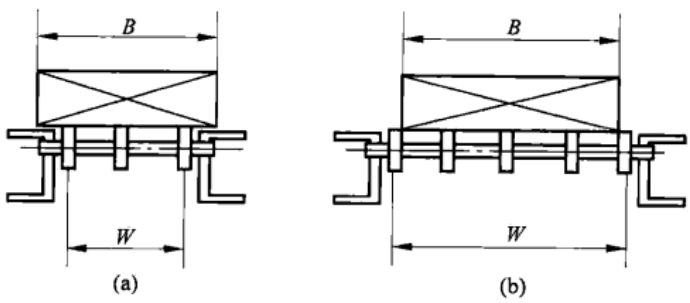


图 3.52 多辊输送机断面图

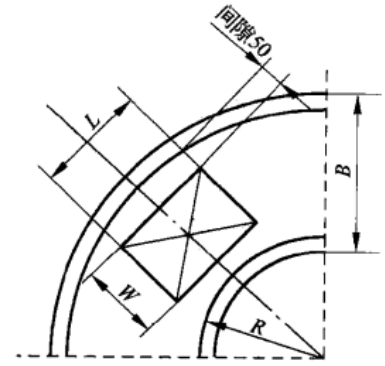


图 3.53 滚轮输送机转弯宽度

(2) 滚筒输送机圆弧段滚筒长度

滚筒输送机在转弯处，即圆弧段的滚筒应采用圆锥形辊子，其滚筒长度可参照图 3.53，计算公式如下

$$B = \sqrt{(R+W)^2 + (L/2)^2} - (R - 50) \tag{3.12}$$

式中，L——物料长度；

R——转弯曲率半径；按经验，物料比输送机两边宽度小 50 mm。

2) 滚筒间距

滚筒间距的大小应保证被输送物料的平稳。如前所述，滚筒输送机要保证平稳地输送物料，至少应保证 4 个以上滚筒支承物料，其间距可按下式计算：

$$p = (1/4 \sim 1/5)L \tag{3.13}$$

式中，p——滚筒间距(mm)；

L——物料长度(mm)。

对于柔性大的细长物料，还需核算物料的扰度。物料在一个滚筒间距上的扰度应小于滚筒间距的 1/500，否则需适当缩小滚筒间距。

滚筒输送机的装载物料段如承受冲击载荷时，也需缩小滚筒间距或增大滚筒直径。对于链传动的滚筒输送机，滚筒间距应为 1/2 链条节距的整数倍。

滚筒输送机以圆弧段中心线上的滚筒间距作为计算滚筒间距。当圆弧段采用链传动时，相邻两滚筒的夹角应小于 5°，以改善传动状况。

3）滚筒直径

滚筒直径的确定主要考虑滚筒的承载能力，可按下式选取：

$$F \leqslant [F] \tag{3.14}$$

式中，F——作用在单个滚筒上的载荷(N)；

$[F]$——单个滚筒上的允许载荷(N)。

作用在单个滚筒上的载荷 F 与物料质量、支承物料的辊子数以及物料底部的特性有关，可按下式计算：

$$F = mg/K_1K_2n \tag{3.15}$$

式中，m——单个物料质量(kg)；

K_1——单列滚筒有效支承系数，与物料底面特性及滚筒平面度有关，一般可取 0.7，对底部刚度很大的物料，可取 0.5；

K_2——多列滚筒不均衡承载系数，对双列滚筒，可取 0.7～0.8；对单列滚筒，取 1；

n——支承单个物料的滚筒数；

g——重力加速度，$g=9.81\ m/s^2$。

单个滚筒的允许载荷$[F]$与滚筒的直径、长度和材料有关，可以从产品技术说明中查取。在确定需要的单个滚筒允许载荷及滚筒长度后，可选择适当的滚筒直径。

4）圆弧段半径

圆弧段半径一般情况下为滚筒直径及长度有关的给定尺寸，可从产品技术说明书中查取。在自行设计圆弧段时，可按以下情况考虑。

一般情况下，圆弧段的滚筒为圆锥形，如图 3.54 所示。图中 R 即为圆弧段内侧半径(mm)，可按下式计算

$$R = D/K - c \tag{3.16}$$

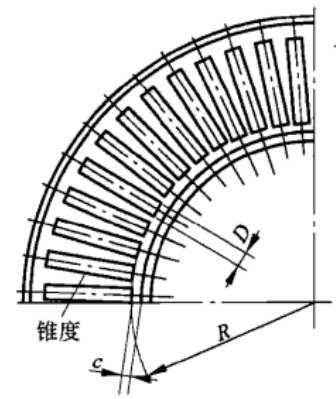


图 3.54 圆锥形滚筒输送机圆弧段

式中，D——圆锥形滚筒小端直径(mm)；

K——滚筒锥度，常用的有 1/16、1/30、1/50，锥度越小，物料在圆弧段运行越平稳；布置空间比较宽裕时，K 值可取小些，否则 K 值可取大些；

c——圆锥滚筒小端端面与机架内侧间隙(mm)。

当圆弧段滚筒采用圆柱形时，一般为单列布置，但如果滚筒长度超过 800 mm 时，应考虑采用双列式滚筒的布置形式。圆弧段内侧半径 R 一般可参考表 3.6 选取。

表 3.6 圆柱形辊子输送机圆弧段内侧半径

滚子直径/mm	25	40	50	60	76	89	108	133	159
圆弧内侧半径 R/mm	630	630	800	800	800	1000	1000	1250	1250
			900	900	900				
	800	800	1000	1000	1000	1250	1250	1600	1600

5）输送机高度 H

H 应根据物料输送的工艺要求(如线路系统中工艺设备物料出入口的高度，装配、调试、装卸区段人员操作位置等)确定，一般取 500～800 mm；也可不设支腿，使机架直接固定在地坪上。

6）输送速度

滚筒输送机的输送速度 v 应根据生产工艺要求和输送方式确定。一般情况下，无动力滚筒输送机取 0.2～0.4 m/s，动力式滚筒输送机取 0.25～0.5 m/s，并尽量取较大值，以便在同样满足输送量要求的前提下，使物料分布间隔较大，从而改善机架受力情况。当工艺上对输送速度作出严格规定时，应按工艺要求确定。但在一般情况下，无动力输送机速度不宜大于 0.5 m/s，动力式输送机不宜超过 1.5 m/s，其中链传动滚筒输送机不宜大于 0.5 m/s。

7）输送能力的计算

输送能力用质量生产率和件数生产率表示。

滚筒输送机质量生产率计算：

$$I_m = 3.6q_G v/g \tag{3.17}$$

式中，I_m——滚筒输送机质量生产率(t/h)；

v——输送速度(m/s)；

g——重力加速度；

q_G——滚筒输送机单位长度上的载荷(N/m)，可用下式计算；

$$q_G = G/a\ . \tag{3.18}$$

式中，G——单件物料的重力(N)；

a——输送机上物料的间距(m)。

滚筒输送机件数生产率计算公式为

$$Z = 3600v/a \tag{3.19}$$

3. 重力式滚筒输送机倾角确定

图 3.55 所示为无动力(重力)滚筒输送机工作示意图。物料的输送是依靠自身的重力作用下自高处输送到低处。图中 β 为输送机的倾角，通常情况下，取 $\tan\beta=0.02$～0.04。常用物料输送时输送机的倾角值见表 3.7。

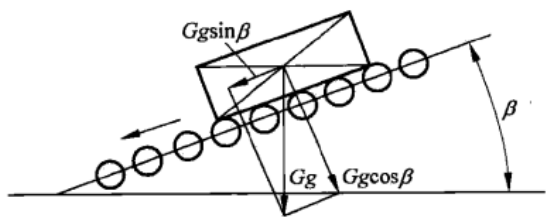


图 3.55 重力式滚筒输送机工作示意图

表 3.7 输送不同物品时输送机倾角的参考数值

物品名称	物品质量/kg	输送机倾角 β	物品名称	物品质量/kg	输送机倾角 β
木箱	9～22	2°18′	纸板	8.0～23.0	2°52′
木箱	23～65	2°	结构木	—	2°18′
木箱	68～110	1°43′	纸辊	—	1°09′
纸板	1.4～3.0	4°	钢板	—	0°55′
纸板	3.5～7.0	3°26′	铸件	—	0°52′

3.3.5 滚筒式输送机应用举例

1. 平面布置

如图 3.56 所示，该系统是某纺织企业涤纶纤维包装生产线的一部分，生产线的输送系统由多种形式的滚筒输送机与转运小车等组成。

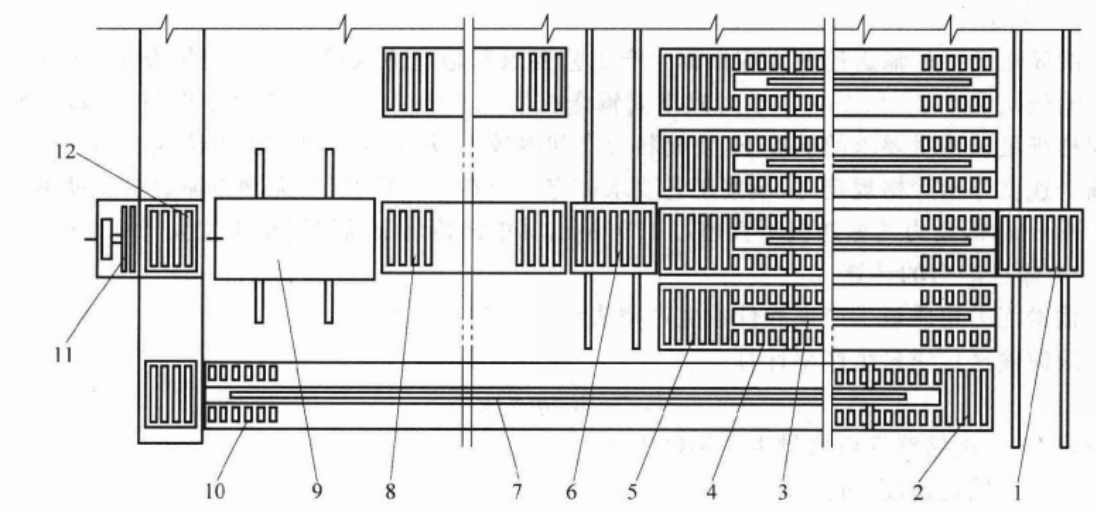


图 3.56 辊子输送机的应用举例

1、6—机动转动小车；2、8—机动辊子输送机；3、7—爪链式牵引装置；4、10—非机动辊子输送机；5—超越式辊子输送机；9—工艺主板；11—推动装置；12—链式输送机械

2. 立体布置

图 3.57 所示为螺旋形的辊子斜道，它是利用螺旋滚筒输送机作为滑动面的螺旋通道。

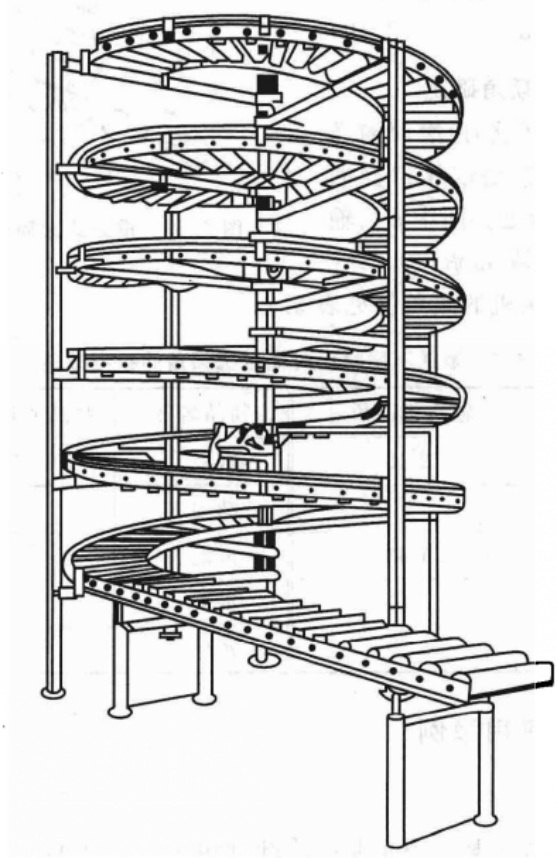


图 3.57 螺旋形的辊子斜道

3.4 链式输送机

链式输送机是输送机械的又一种主要形式。它用绕过若干链轮的无端链条作挠性的牵引构件，由驱动链轮通过齿轮与链节的啮合，将圆周牵引力传递给链条，在链条上输送物料。

链式输送机的牵引链是传递动力的重要构件，要求具有良好的是双向挠性，便于在水平方向和垂直方向转向，链条组装后的节距误差小，易拆装，具有良好的耐磨性。链条有如下几种形式。

1. 片式链

片式链条耐冲击，运行平稳，工作可靠。它因滚轮安装位置的不同，分为两种结构形式。一种是滚轮装在内链片中间，如图 3.58(a)所示，滚轮既是行走构件，又是传力构件，而其滚轮与套筒之间是滑动摩擦，因而阻力系数较大；另一种是滚轮装在外链片的外侧，如图 3.58(b)所示，滚轮仅支承底板上的负载，其结构尺寸相应可以减少，且滚轮内装有滚动轴承，因而阻力系数也小，得到广泛应用。图 3.59 所示是常见的一种片式链——套筒滚子链结构，内链片 2 固定在套筒 1 上，外链片 4 固定在销轴 3 上，销轴与套筒、滚子与套筒可自由转动。当它与链轮啮合时，由于轮齿与滚子的摩擦系数，使滚子在套筒上转动，但滚子相对轮齿不动，因而大大减轻了轮齿的磨损。图 3.60 为叉型片式链，其特殊形式的关节可防止物料颗粒进入链条板片之中。

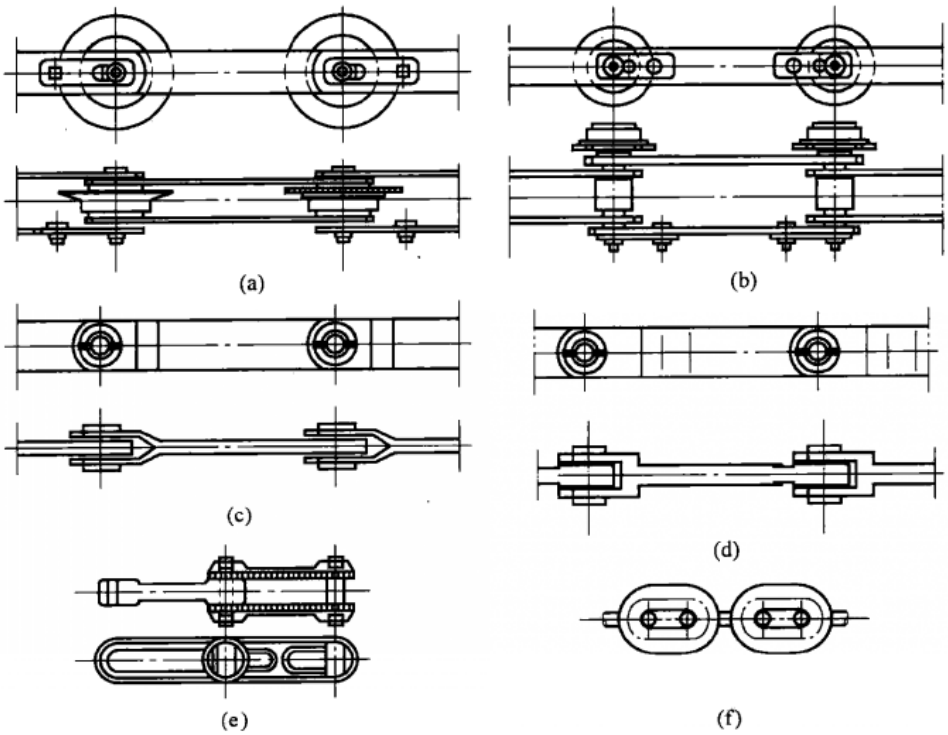


图 3.58 链式输送机用牵引链

(a) 片式链(一)；(b) 片式链(二)；(c) 冲压链；(d) 铸造链；(e) 可拆卸链；(f) 环形链

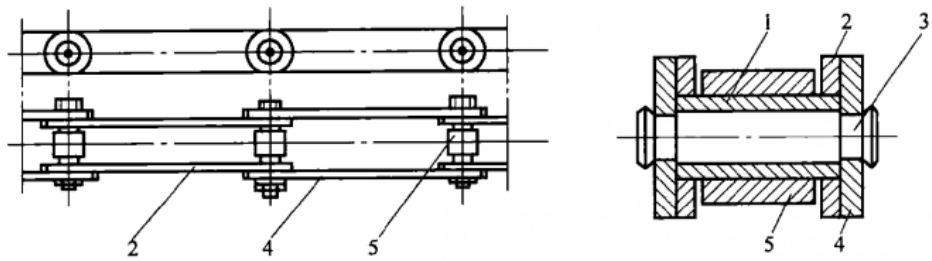


图 3.59 套筒滚子链

1—套筒；2—内链片；3—销轴；4—外链片；5—滚子



图 3.60 叉型片式链

2. 冲压链

冲压链如图 3.58(c)所示，由于构造上的不同，与片式链相比，其磨损较快。但这种链条结构简单，加工容易，重量小，现已被广泛采用。

3. 铸造链

铸造链的构造与冲压链一样，不同的是它是铸造的(冲压链则是冲压工艺形成)，见图 3.58(d)。一般用球墨铸铁制造，也可以用可锻铸铁或高牌号的灰铸铁制造。由于铸铁的抗拉强度低，故铸造链截面尺寸和重量均较大。

4. 可拆卸链

可拆卸链条用可锻铸铁制造，更多的是用钢材冲压制造，结构见图 3.58(e)。其最大优点是装拆极为方便。

5. 环形链

环形链如图 3.58(f)所示，一般由圆钢焊接而成，又称焊接链。优点是简单易制，在垂直和水平面内均可弯曲；缺点是环节间的接触面磨损较快，使链条节距变大，链条伸长，使输送机的运行变得不平稳。

根据承载构件的结构形式，链式输送机可分为板式、刮板式、悬挂式、链条式等多种类型。

3.4.1 板式输送机

板式输送机的结构形式多样，按牵引构件的结构形式可分为套筒滚子链式、冲压链式、铸造链式、环链式及可拆卸链式等；按牵引链的数量可分为单链式和双链式；按底板的结构形式可分为鳞板式和平板式；按输送机的运行特征可分为连续式和脉动式；按驱动方式可分为电力机械驱动和液力驱动。

1. 链板输送机

用链条和托板组成的链板输送机，是一种广泛使用的板式输送机。如果链条的滚子支

撑力方向垂直于链条的回转平面，如图 3.61 所示，可制成水平回转的链板输送机；如果托板铰接在链条上，可以侧向倾翻，如图 3.62 所示，则可制成自动分选机。

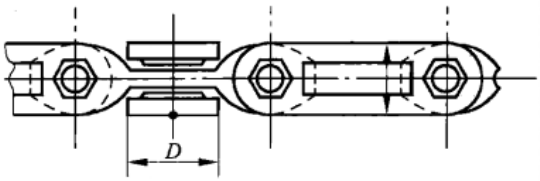


图 3.61 可回转链板示意图

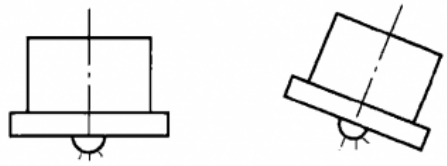


图 3.62 可侧翻链板

图 3.63 是链板输送机的结构图，其结构和工作原理与带式输送机相似，主要区别是：带式输送机用输送带牵引和承载物料，靠摩擦力驱动传递牵引力；而链板输送机则用链条牵引，用固定在链条上的板片承载物料，靠啮合驱动传递牵引力。链板输送机主要用于在部分工厂、仓库或内河港口输送成件物料。它与带式输送机相比，优点是板片上能承载较重的件货，链条挠性好，强度高，可采用较小直径的链轮和传递较大的牵引力；缺点是自重、磨损、消耗功率都较带式输送机大，而且，链板输送机和其他啮合驱动的输送机或提升机一样，在链条运动中会发生动载荷，使工作速度受到限制。

2. 链板式垂直提升机

在链板式垂直提升机上托住物料的是互相铰接的链条，提升机有两组这样的链条。托板的第一根板条铰接在一组链条上，托板的最后一根板条铰接在另一组链条上。

图 3.64 是 Z 形升降机的简图。当第一根板条随着第一组链条运行至物料入口处，检测装置发出信号，启动送料输送机使之与提升机同步运行。物料逐渐转到由板条组成的托板上，当第一根板条随着第一组链条经过转向轮向上移动时，最后一根板条也正好随着第二组链条向上移动，于是两组链条拉着载物托盘垂直提升。链条运行至顶部，第一根板条随第一组链条经过转向轮垂直向下移动。后续板条继续把物料送达出口输送机上，当最后一根板条随着第二组链条向下移动时，整个托盘成垂直状态。链板式垂直提升机上可布置很多托板，按一定间距铰接在链条上，可与水平连续输送机配合，连续地提升或降下物料。

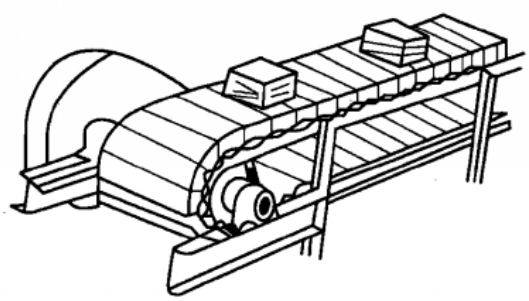


图 3.63 链板式输送机

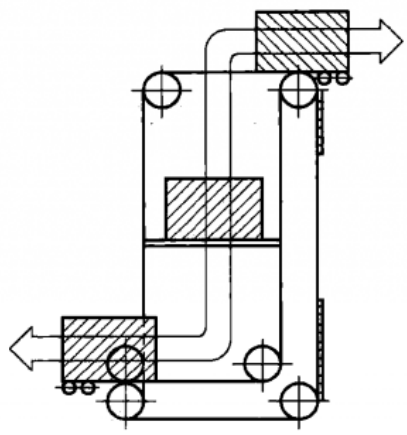


图 3.64 Z 形升降机

3. 布置形式

板式输送机的布置形式应考虑必须满足工艺要求，在此前提下力求最简单的布置形式，并充分考虑输送机与各专业工种的关系，求得整体布置的合理性和经济性；同时，在作倾斜布置时，不得超越允许的倾角范围。图 3.65 是板式输送机的几种常用布置形式。

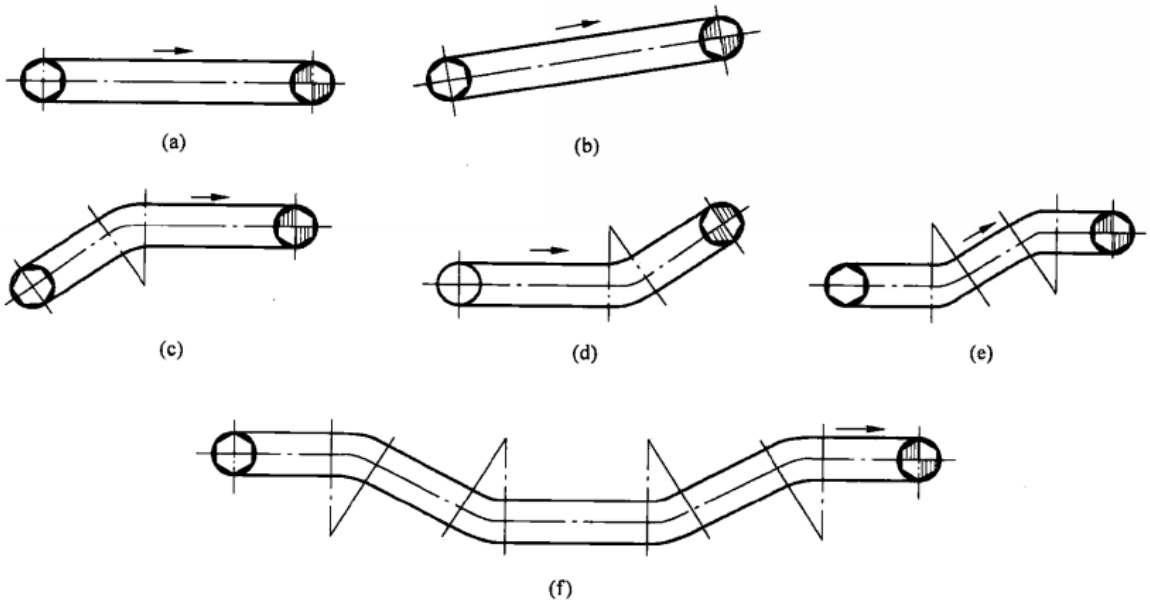


图 3.65 板式输送机常用的布置形式

(a) 水平型；(b) 倾斜型；(c) 倾斜水平型；(d) 水平倾斜型；(e) 综合型；(f) 综合型

4. 主要结构组成

图 3.66 所示的板式输送机是连续式鳞板输送机的结构，如将鳞板改成平板，就成为平板输送机。该输送机由头轮装置、鳞板链条装置、尾轮张紧装置、机架和驱动装置组成。头部链轮经驱动后，鳞板链条装置中的牵引链与链轮啮合，带动整个鳞板沿输送机的纵向中心线运动，而滚轮则沿着固定在机架上的轨道行走，从而完成输送工作。

(1) 牵引链

板式输送机的牵引链主要采用片式链，冲压链也有少量使用，铸造链国内主要用于一些钢铁厂和铸造厂，环形链应用在弯曲板式输送机上，而可拆卸链很少采用。

(2) 底板

底板是输送机的承载构件，一般分鳞板和平板两种。采用螺栓或焊接将底板与牵引构件连接在一起。它的结构形式取决于被输送物料的输送量、物料特性和在底板上的放置形式；其材质取决于被输送物料的化学、物理特性和受力情况。如输送灼热物料，宜用钢或铸铁制的波浪形鳞板，输送易碎物料，则采用木质的有挡边的平板。

(3) 驱动装置

由于板式输送机的速度低，只靠减速机不易满足大减速比要求，因此，一般均采用综合式的传动机构，即除减速机外，还需配置如齿轮、V 带等减速设备构成的开式传动机构。在一般情况下，板式输送机大多采用单一速度和单驱动。当输送工艺有变速要求时，可在减速

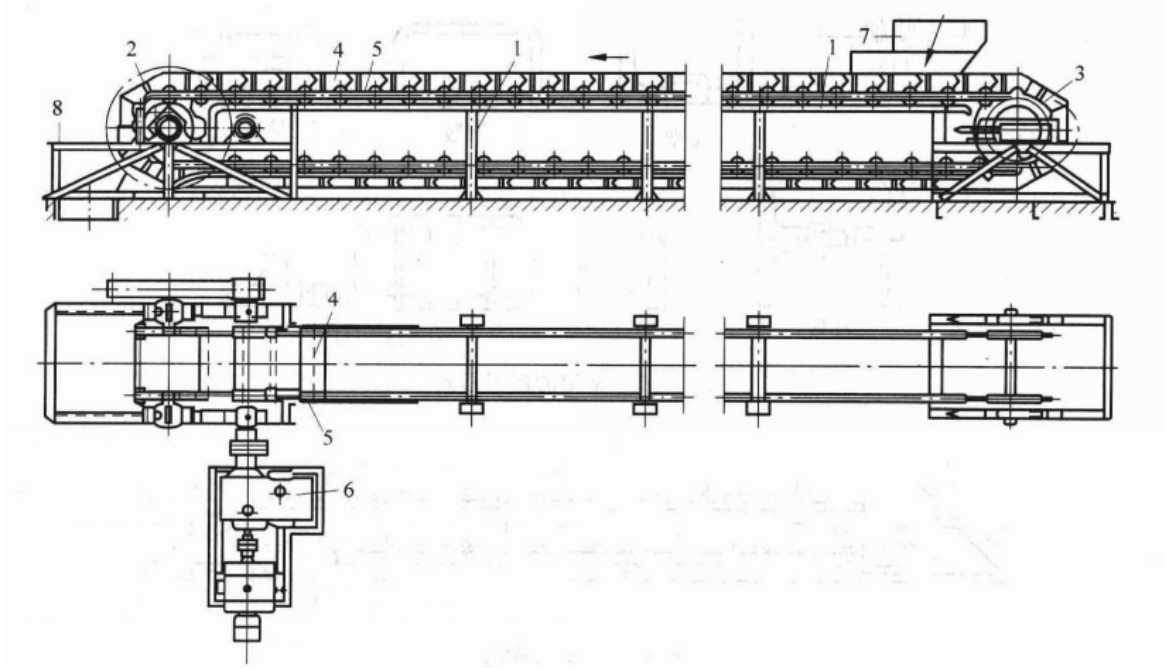


图 3.66 连续式鳞板输送机

1—机架；2—头部链轮；3—尾部链轮；4—鳞板；5—牵引链条；6—驱动装置；7—倒料槽；8—卸料斗

装置中设置变速机构；只有特别长(200 m 以上)的重载输送机才采用多点驱动。

(4) 张紧装置

螺旋张紧装置是板式输送机常用的张紧形式，其突出优点是结构简单、尺寸紧凑；缺点是需定期检查和张紧。张紧行程一般有 200 mm、320 mm、500 mm、800 mm 4 种。

(5) 机架

板式输送机的机架有头轮装置支架、尾轮装置支架、中间支架、凸弧段支架、凹弧段支架等。输送机中间有供滚轮行走用的水平支承轨道，一般 4～6 m 制成一节。在凹弧段的支承轨道的上方需要安设压轨，以防止由于采用了较小的弯曲半径行走滚轮转向时脱离轨道。

3.4.2 刮板式输送机

刮板式输送机是利用相隔一定间距而固定在牵引链条上的刮板，沿导槽刮运散料的机械，有刮板输送机和埋刮板输送机，牵引链一般采用叉型片式链。

刮板的形状很多，依据其形状可分 T、U、O、H、L 等型，图 3.67 是常用的刮板形式，其中 U 型使用最为普遍。

1. 刮板输送机

刮板输送机是沿敞开的导槽刮运散料的刮板式输送机。工作分支可采用上分支或下分支。前者供料方便，可在任一点将物料供入敞开的导槽内；后则卸料比较方便，可打开槽底任意一个洞孔的闸门而让物料落在不同位置流出。当需要向两个方向输送物料时，则上下分支可同时作为工作分支，如图 3.68 所示。

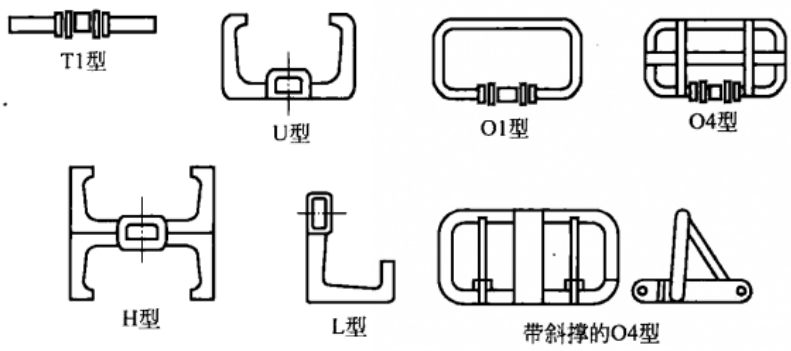


图 3.67 常用的刮板形式

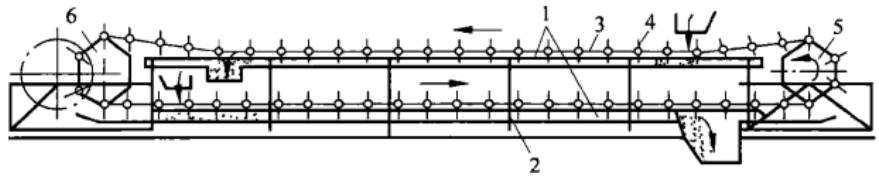


图 3.68 刮板输送机

1—导槽；2—机架；3—链条；4—刮板；5—驱动链轮；6—张紧链轮

刮板输送机适用于输送温度在 250℃ 以下的煤炭、沙子、谷物等粉粒状和块状物料，以水平输送为主，也可倾斜输送，其最大倾斜角为 20°。它主要用在矿山、冶金、煤矿、化工行业对含水率无过高要求且系统中粒度在 300 mm 以下的各种原料输送。其优点是结构简单牢固，对被运物料的块度适应性强，改变输送机的输送长度较方便；当水平运输时可分为单层、双层运输，安装维修方便，可多点进料和出料。缺点是由于物料与料槽和刮板与料槽的摩擦，料槽和刮板的磨损较快，输送阻力和功率消耗较大，因此常用于生产率不大的短距离输送，不宜输送黏性大、要求破碎率低的易碎性物料。

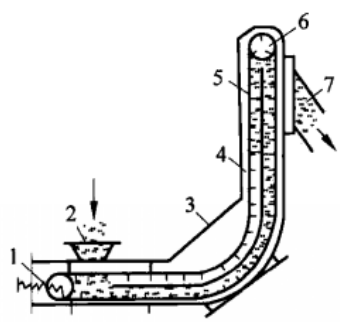


图 3.69 埋刮板输送机

1—张紧装置；2—加料斗；3—弯道；4—机壳；5—刮板链条；6—驱动链条；7—卸料口

2. 埋刮板输送机

埋刮板输送机是由刮板输送机发展而来的一种链式输送机，其结构如图 3.69 所示。其工作原理与刮板输送机不同，物料以充满机槽整个断面或大部分断面的连续物料流形式进行输送。工作时，与链条固接的刮板全埋在物料之中，刮板链条可沿封闭的机槽运动，可在水平、倾斜和垂直方向输送粉粒状或小块状物料。物料可由加料口供入机槽，也可在机槽开口处由运动着的刮板从料堆取料。

(1) 工作原理

埋刮板输送机利用散料具有内摩擦力、侧压力等特性和物料起拱特性进行输送。

水平输送时，物料受到刮板链条在运动方向的推力，当料层间的内摩擦力大于物料与槽壁间的外摩擦力时，物料就随着刮板链条向前运动。在料层高度与机槽宽度之比满足一定

的条件时，料流是稳定的。

图 3.70 为料层受力图。刮板以上的料层受到内摩擦力和外摩擦力的作用，内摩擦力 F_0 带动料层运动，F_0 可由下式求出

$$F_0 = f_0 Bha\gamma \tag{3.20}$$

式中，f_0——物料内摩擦系数；

B——机槽宽度；

h——料层高度；

a——刮板间距；

γ——物料容重。

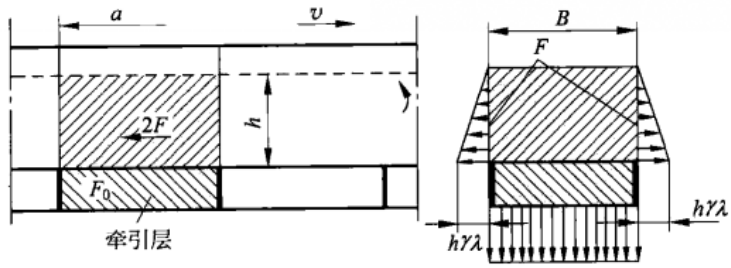


图 3.70 水平输送时作用在料层上的力

外摩擦力是指物料和机槽之间的摩擦力，它阻碍物料运动，外摩擦力可由下式求出：

$$F = fah^2\gamma\lambda \tag{3.21}$$

式中，f——物料对机槽的外摩擦系数；

λ——物料的侧压系数，与内摩擦角 ρ 有关。

要使料层运动，必须满足 $F_0 \geqslant F$，即

$$f_0 Bha\gamma \geqslant fah^2\gamma\lambda \tag{3.22}$$

可得

$$h \leqslant \frac{f_0}{f\lambda}B \tag{3.23}$$

由于 $f_0/f\lambda$ 仅取决于机槽和被运送物料特性，所以对一定的物料和机槽，它只能运送高度 $h \leqslant \frac{f_0}{f\lambda}B$ 的物料层。

垂直输送时，主要依赖物料所具有的起拱特性。封闭机槽内的物料受到刮板链条在运动方向的推力，且受到下部不断给料而阻止上部物料下滑的阻力时，产生横向侧压力，从而增加物料的内摩擦力。当物料之间的内摩擦力大于物料和机槽壁间的外摩擦力及物料自重时，物料就随刮板链条向上输送，形成连续料流。由于刮板链条在运动中振动，有些物料的料拱会时而破坏，时而形成，因而使物料在输送过程中对链条产生一种滞后现象，影响输送能力。

(2) 应用范围

埋刮板输送机主要由封闭断面的机壳(机槽)、刮板链条、驱动装置及张紧装置等部件组成，设备结构简单，体积小，密封性能好，安装维修比较方便；能多点加料和卸料，工艺选型及

布置较为灵活；在输送飞扬性、有毒、高温、易燃易爆物料时，可改善工作条件，减少环境污染，因而广泛应用于化工、建材、冶金、电力、粮食、轻工、交通等部门。

其对物料的要求如下：

① 物料松散密度 $\rho=0.2\sim2.5\ t/m^3$；

② 一般机型适用物料温度小于 120℃，热料型输送物料温度为 100～450℃，瞬时物料温度可达 800℃；

③ 含水率与物料粒度、黏度有关，一般以手捏成团撒手后仍能松散为度。

(3) 布置形式

埋刮板输送机主要有水平型、倾斜型和垂直型 3 种。

水平型埋刮板输送机如图 3.71 所示。图(a)使用最为普遍，输送长度可达 80～120 m，适用一般物料输送；图(b)所示有中间隔板，设有几个进料口，通过计量闸门可任意调整个段物料配比，适用混合几种不同的散料。

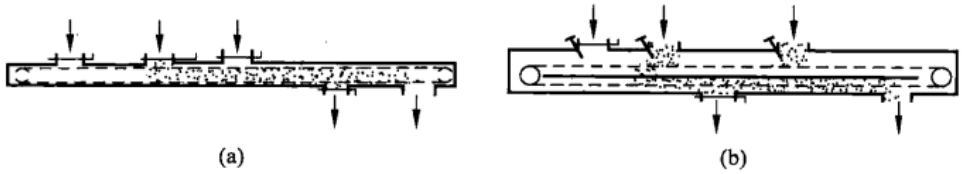


图 3.71 水平型埋刮板输送机

(a) 普通水平型埋刮板输送机；(b) 有中间隔板的水平型埋刮板输送机

倾斜型埋刮板输送机如图 3.72 所示，其中图(a)一般安装倾角为 0°～30°。图(b)有中间隔板，输送是在物料完全充满下方的情况下进行，即使倾角较大，仍能保证物料连续输送。

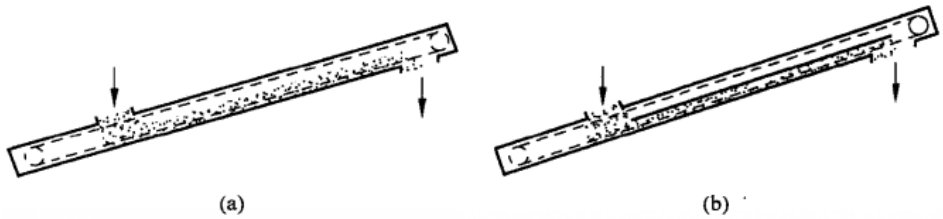


图 3.72 倾斜型埋刮板输送机

(a) 普通倾斜型埋刮板输送机；(b) 有中间隔板的倾斜型埋刮板输送机

垂直型埋刮板输送机如图 3.73(a)所示，倾角可为 30°～90°，提升输送高度可达 30 m，适用于输送一般性物料，使用较普遍。图 3.73(b)是一种变形结构，适用于输送流动性差、卸载较难的物料。

除上述 3 种布置形式外，埋刮板输送机还有扣环型、Z 型、平面环型、立面环型等布置形式，见图 3.74～图 3.77。

3.4.3 悬挂式输送机

悬挂式输送机是一种输送成件物料的三维空间闭环输送系统，用来连续输送毛坯、机器零件、半成品、成品等各种成件物料(包括装在容器或包内的散料)。在现代工业中，机械制造、汽车制造、轧钢、炼铝、轻工、家电、化工、食品等行业悬挂输送机已得到相当广泛的应用。

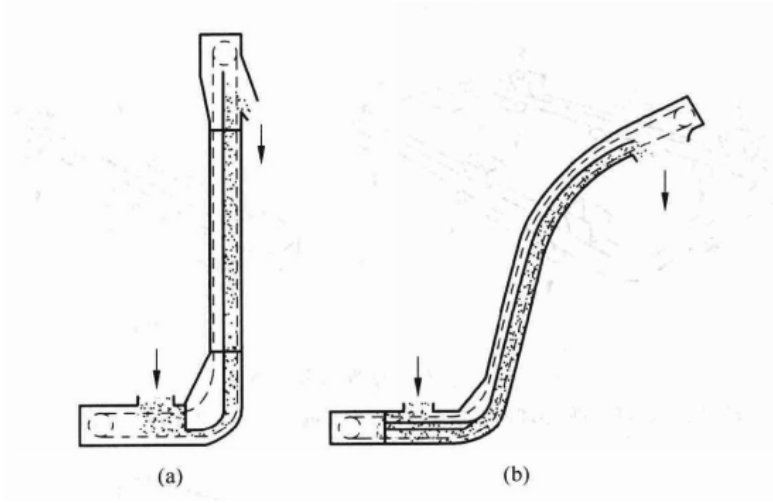


图 3.73 垂直型埋刮板输送机

(a) 普通垂直型埋刮板输送机；(b) 垂直型埋刮板输送机的变形结构

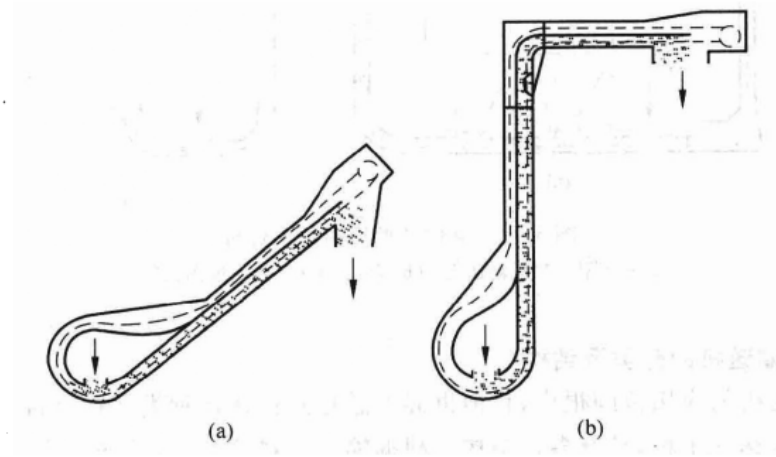


图 3.74 扣环型埋刮板输送机

(a) 普通扣环型埋刮板输送机；(b) 可水平输送的扣环型埋刮板输送机

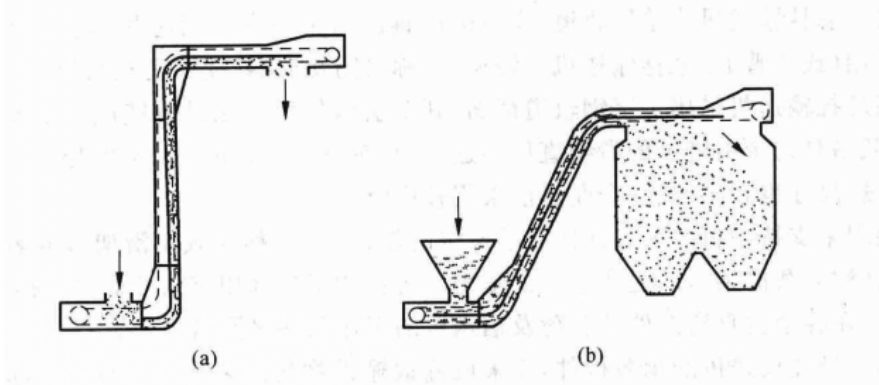


图 3.75 Z 型埋刮板输送机

(a) 普通 Z 型埋刮板输送机；(b) 上水平段中不设底板的 Z 型埋刮板输送机

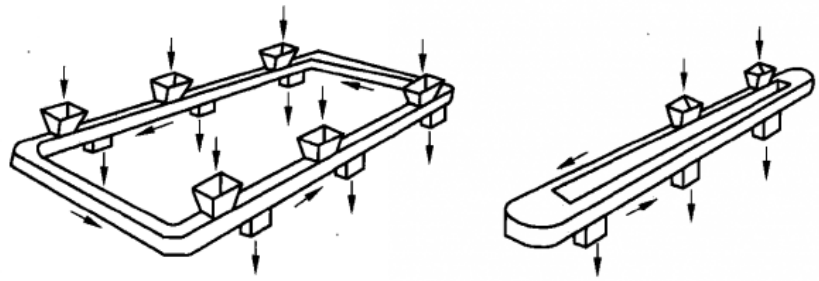


图 3.76 平面环型埋刮板输送机

(a) 六进六出平面环型埋刮板输送机；(b) 二进三出平面环型埋刮板输送机

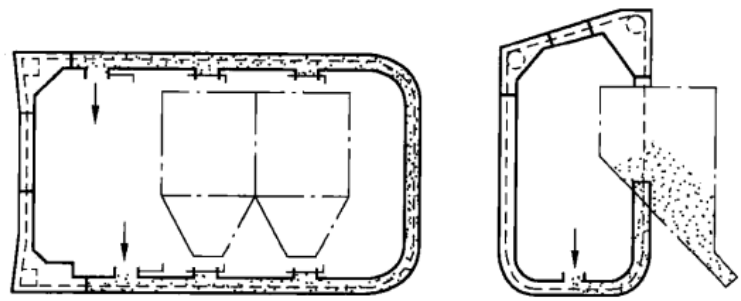


图 3.77 立面环型埋刮板输送机

(a) 立面环型埋刮板输送机；(b) 特殊型立面环型埋刮板输送机

1. 悬挂式输送机的分类及结构

悬挂式输送机的应用范围很广，目前世界上悬挂式输送机种类多达上百种，我国生产的悬挂式输送机也达几十种，具有多种结构。根据输送物料的方式，悬挂式输送机可分牵引式和推式两大类。

1) 牵引式悬挂输送机

牵引式悬挂输送机为单层轨道，牵引构件直接与承载吊具相连并牵引其运行。最为常见的为通用(或称普通)悬挂输送机和轻型(又称封闭轨道)悬挂输送机两种。

通用悬挂输送机采用工字钢轨道截面，其牵引构件由冲压易拆链或模锻易拆链和滑架组成，承载吊具与牵引链上的滑架直接相连，结构如图 3.78 所示。通用悬挂输送机组成较简单，质量、尺寸也较小，我国企业目前采用较广泛。

滑架用来支持物料的吊具并使它沿架空的轨道运行(称为载重滑架)，或者用来支撑链条的重量(称空载滑架)，以免产生过大垂度。每台滑架的许用有效载荷要根据线路的轮廓、运行速度、在各个垂直弯曲处的载荷及输送机的工作条件等因素决定。

吊具是悬挂输送机的承载构件，用来放置被输送物料的装置。吊具的形状与尺寸应与输送物料的特性相适应，要求简单实用、坚固牢靠、装拆方便，满足工艺操作要求，能充分发挥输送机生产率。

通用悬挂输送机如图 3.79 所示。输送机的牵引链条沿着构成封闭环路的架空轨道运

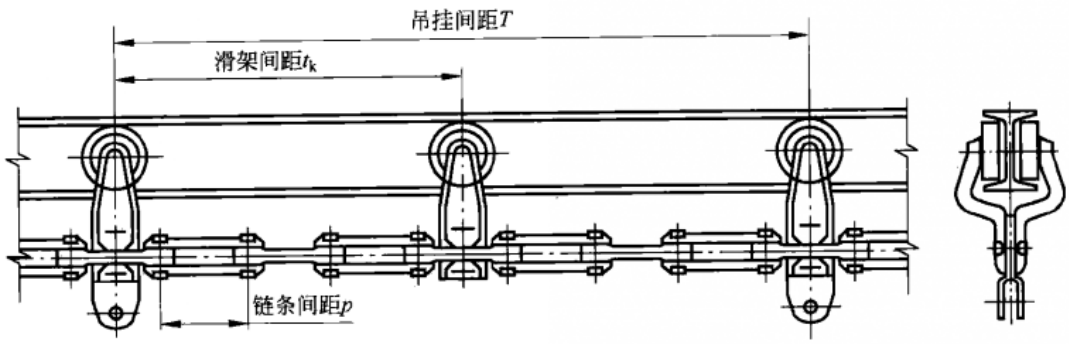


图 3.78 通用悬挂输送机的结构

动。牵引链条固接有滑架，滑架上连接有装载输送物料的吊具。架空轨道沿生产工艺线路布置，安装在屋架或其他构件；输送线路可根据要求有水平直线段、垂直直线段、倾斜直线段和多个转向弯曲段，构成空间环路。物料装卸是由人工或自动方式在输送线路的一处或多处进行。

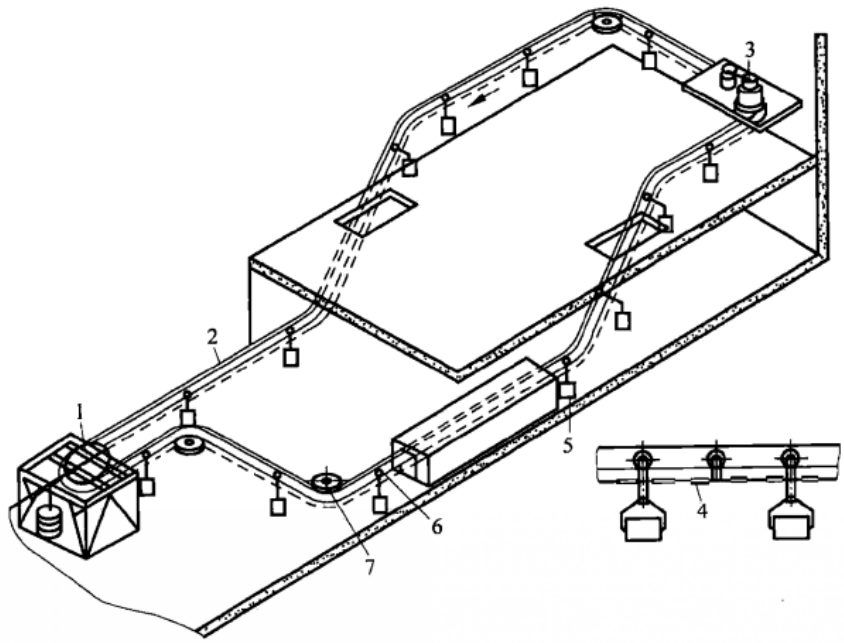


图 3.79 通用悬挂输送机

1—张紧机构；2—架空轨道；3—驱动机构；4—牵引机构；5—吊具；6—小车；7—转向装置

图 3.80 是轻型悬挂输送机结构，采用封闭轨道截面，其牵引构件为双向均带有滚轮的双铰链，承载吊具通过各种形式吊杆与多铰接链连接。

2）推式悬挂输送机

推式悬挂输送机为双层轨道，上层牵引轨道上的构件并不与下层承载轨道上携带承载吊具的承载小车相连，而是由牵引构件上的推杆或四轮推钩推动承载小车运行。

20 世纪 70 年代，我国先后生产过没有积放功能的推式悬挂输送机。但要实现输送和工艺作业的综合机械化、使工作节奏完全不同的单独输送线路和工艺线路联合成一个完全

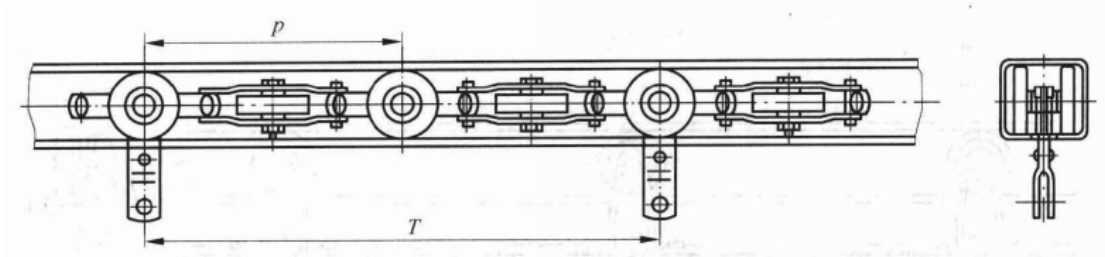


图 3.80 轻型悬挂输送机

自动化系统，使输送物料能够自动寄送、储存，就必须采用积放式输送机。随着技术发展和生产自动化要求的日益提高，具有积放功能的推式悬挂输送机——积放式悬挂输送机已逐渐成为推式悬挂输送机的主流。

积放式悬挂输送机是一种适应高生产率、柔性生产系统的传输设备。它不仅起输送作用，而且贯穿整个生产线，集精良的工艺操作、储存、输送等功能于一体。其主要特点是具有双层轨道，承载小车可与牵引链条相分离，对小车进行灵活控制。目前，最常见的积放式悬挂输送机有通用积放式和轻型积放式。

通用积放式悬挂输送机采用工字钢和双槽钢轨道截面，其牵引构件由模锻易拆链、滑架和推杆组成，承载吊具与具有积放功能的承载小车铰接，其结构如图 3.81 所示。

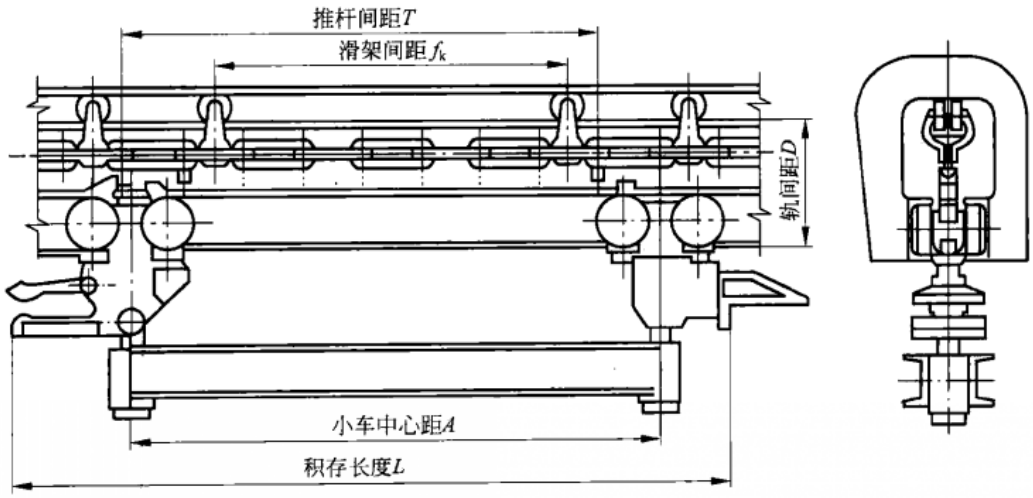


图 3.81 通用积放式悬挂输送机

轻型积放式（又称封闭轨积放式）悬挂输送机采用封闭轨和槽形半轨轨道截面，其牵引构件由双铰接链和四轮推钩组成。四轮推钩和承载小车的协调动作保证系统的积放功能，其结构见图 3.82。

（1）积放功能

积放式悬挂输送机的最大特点是承载小车具有自动积放功能。通用积放式悬挂输送机和承载小车一般由前后两小车或前、中、后 3 小车及均衡梁组成。前小车上装有一个可上下活动的升降爪、可翻动的止逸爪和前铲等零件，升降爪通过杠杆与前铲铰接，后小车装有一楔形尾板。牵引链条上的推杆与前小车升降爪相啮合，推动承载小车运行。积存时依靠停止器臂板的插入将小车上的升降爪压下，使承载小车脱离牵引链的啮合而停止下来，后续的

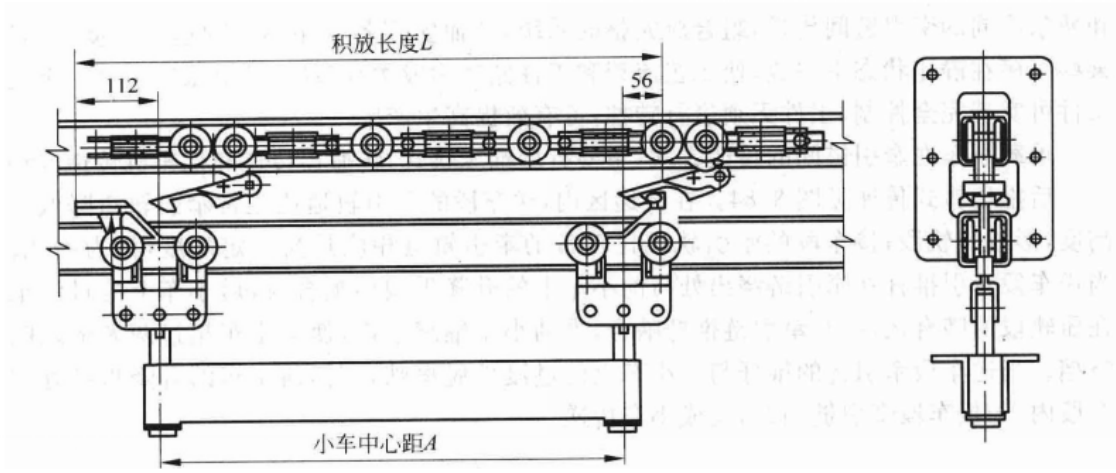


图 3.82 轻型积放式悬挂输送机

小车因其前铲被前一辆小车的尾板抬起，通过杠杆迫使升降爪落下，而使后续小车停下。当停止器臂板撤回时，由于前铲的重力使升降爪复位，小车重新投入运行，如图 3.83 所示。

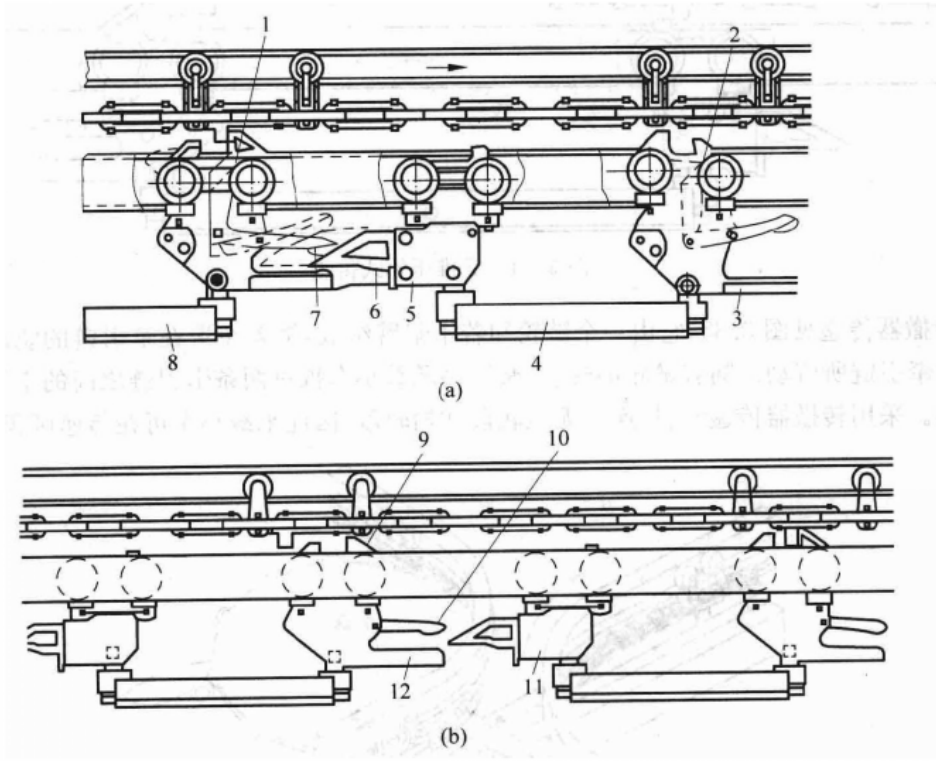


图 3.83 通用积放式悬挂输送机小车的积放

(a) 小车积存；(b) 小车释放

1—升降爪(落下状)；2—升降爪(张下状)；3—前小车；4—第一辆小车；5—后小车；6—尾板；7—前铲；8—第二辆小车；9—升降爪(抬起状)；10—前铲(落下状)；11—第一辆小车(运行状)；12—第二辆小车(即将运行状)

(2) 承载小车的传递

积放式悬挂输送机能够把各种不同工艺速度或输送速度的独立环线通过岔道在直线段

和两条不同的牵引链间传递，组合成完整的系统，从而实现各工序不同的运行速度，或者让某些工序在静止状态下完成，使工艺流程和工件储存构成柔性系统，并对系统中每一个运载工件可实现完全控制，工件无须进行转挂，可有效提高生产率。

承载小车在牵引链间的传递方式，主要有后推压轨式、转撤器传递和推车机传递 3 种。

后推压轨式传递见图 3.84。在传递区内，送车段的牵引轨道比正常牵引轨道降低一定高度，形成压轨段；接车段的牵引轨道比正常的牵引轨道相应抬高一定高度，称为抬轨段。当送车段牵引推杆在牵引链绕出处与前小车上的升降爪脱离啮合时，后小车上的过渡爪处在压轨段的啮合区内，与牵引链推杆啮合，推动小车继续前进，使前小车越过两条链之间的空挡。当送车段牵引链的推杆与后小车上的过渡爪脱离啮合时，前小车的升降爪已处在接车段内，与接车段牵引链啮合，完成小车传递。

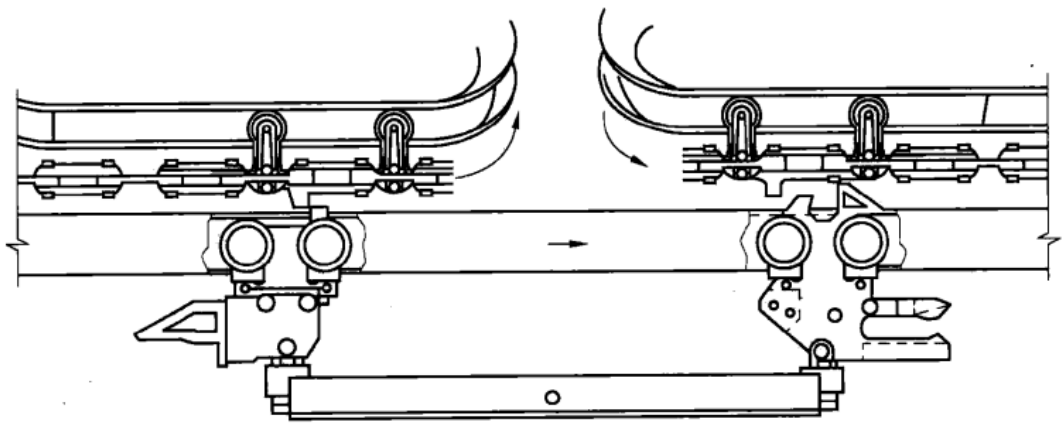


图 3.84 后推压轨式传递

转撤器传递见图 3.85，它由一个链轮和若干桨臂组成，链轮布置在牵引链的绕出处，被送车段的牵引链所带动。随着链轮的转动，桨臂将承载小车推过两条牵引链之间的空挡，完成传递过程。采用转撤器传递时，传递区无压轨段和抬轨段，因此承载小车可在传递区积存。

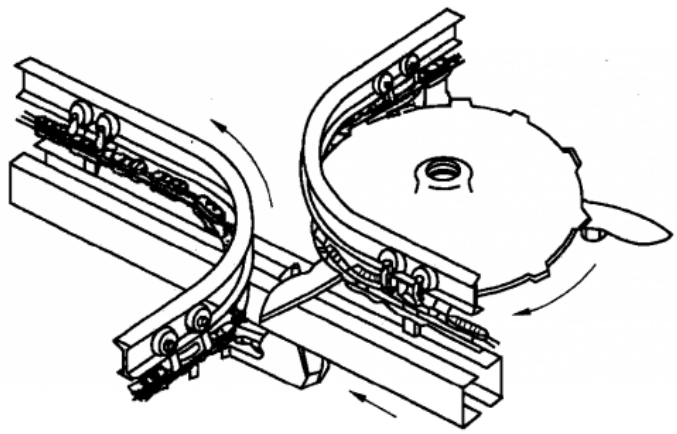


图 3.85 转撤器传递

推车机传递见图 3.86，有机械传动式和气动式两种结构形式，两者功能相当（前者用于大行程），都是利用移动架上的推爪推动承载小车越过两牵引链之间的空挡，完成传递过程。

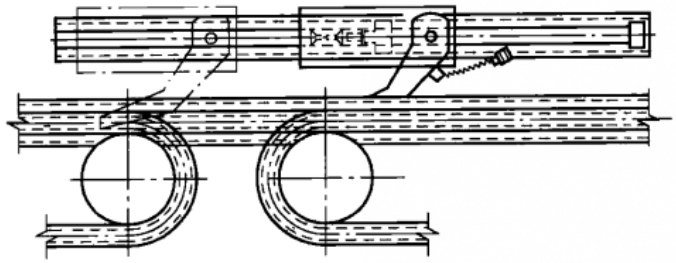


图 3.86 推车机传递

2. 悬挂式输送机特点

悬挂式输送机的优点如下：

① 可用于衔接工序繁多、生产节拍紧凑、工艺方法相对稳定的生产过程；

② 具有良好的工艺性，能在水平和垂直面内任意回转，输送长度可达数百米，采用多机驱动可达 2000 m，可将各个单一独立的专业化生产环节配套成线；

③ 在厂房屋架上悬挂布置，能够不占用地面生产面积，对地面设备和工艺操作影响小，从而提高车间生产面积的利用率和经济合理性；

④ 适应性强，工作环境温度范围较宽(一般为－20～45℃，小牵引链为－20～200℃)；

⑤ 可以实现高度机械化和自动化，进行连续、有节奏的生产；

⑥ 运行速度范围广，为 0.3～25 m/min，可根据需要实现无级调速和间歇运行及双线同步运行；

⑦ 运送成件物料范围宽，载物最大质量可达 2000 kg，物料长度可达 4～5 m；

⑧ 动力消耗小，单位牵引力为 150～300 N/t。

悬挂式输送机的缺点是较难实现装卸过程自动化，制造成本较高，可靠性要求较高。

3.4.4 链条式输送机

链条式输送机是以链条为传动元件及输送元件的输送机。牵引链条多用片式链和环形链，链条滚子材料一般为钢，为降低噪声，有的也采用工程塑料。输送机的链条以导轨为依托，将物料直接以链条承接输送或利用承接托板承接输送，如图 3.87 所示。其特点是输送速度较慢，构造简单、易维护，应用广泛。

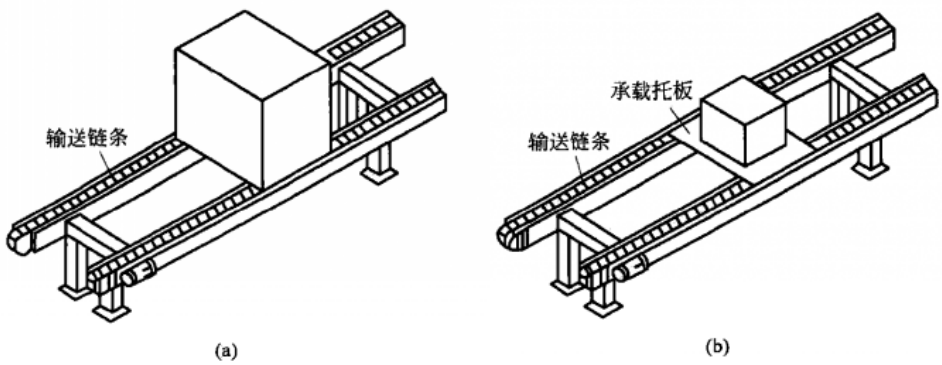


图 3.87 链条式输送机工作示意图

(a) 直接以链条承接输送；(b) 利用承接托板来承接输送

根据其用途不同，可以将其制成水平和倾斜的，其牵引链常沿着滑轨滑动或滚动，如图 3.88 所示。

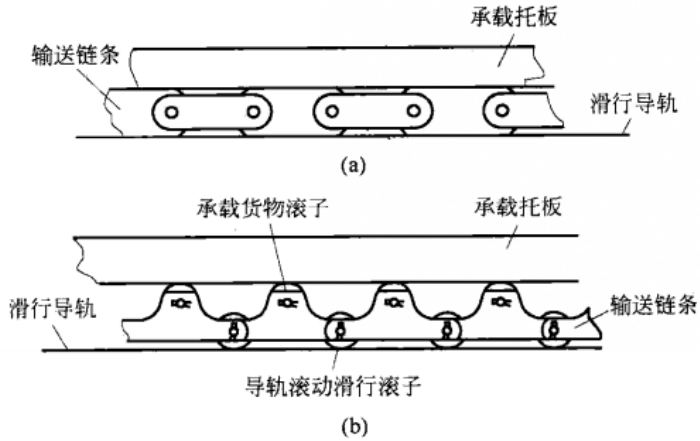


图 3.88　链条式输送机

(a) 滑动式链条输送机；(b) 滚动式链条输送机

3.5　流体输送机械

根据流体性质不同，可将流体输送设备分为液体输送设备和气体输送设备两类。为液体提供能量的输送设备称为泵，为气体提供能量的输送设备称为风机及压缩机，而气体的抽真空机械称为真空泵。由于输送的物料性质各不相同，如有高黏度的、有强腐蚀的、有易燃易爆的或含固体浮物的等，而且要求的流量及扬程又不相同，因而有不同结构和特性的输送机械。目前用的液体输送设备，按工作原理不同可分为离心式、往复式、旋转式以及流体动力作用等；而气体输送机械虽与液体输送机械的结构和操作原理相类似，但气体有可压缩性，当力变化时会引起温度和密度的变化，因此气体与液体输送机械不同。本章主要讨论流体输送机械的操作原理、基本结构和性能，以便于合理选择和使用这些机械。

3.5.1　泵

泵是为液体输送能量的设备。因为流体在流动、输送过程中必有一部分能量损耗在流体阻力上，为了保证工艺条件所要求的流速和流量，就需要泵提供一定的机械能，以克服液体的阻力。泵的种类很多，按照工作原理的不同，可以分为离心泵、往复泵、转子泵(旋转泵)与旋涡泵等几种。其中，离心泵的构造比较简单，价格便宜，安装使用也方便，在生产上应用最为广泛。本节将对其作重点介绍。

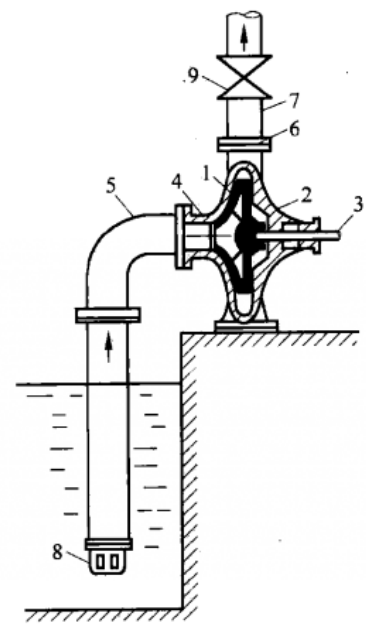


图 3.89　离心泵装置基本结构简图

1—叶轮；2—泵壳；3—泵轴；4—吸入口；5—吸入管；6—排出口；7—排出管；8—底阀；9—调节阀泵

1. 离心泵

1) 离心泵的结构和工作原理

图 3.89 所示为离心泵的基本结构。主要部件有叶轮

和泵壳(又称蜗壳)。其中,叶轮一般由若干片(6～8 片)向后弯曲的叶片所组成,密封并紧固在泵壳内的泵轴上。叶片间是流体通过的通道;泵壳为一螺旋蜗壳,液体吸入口位于轴心处与吸入管处相连接,排出口则位于泵壳切线方向与排出管路相连接。在吸入管路的末端装有带滤网的底阀,滤网的作用是防止杂物进入管路和泵壳。排出管上装有调节阀,用以调节泵的流量,通常还装有止逆阀(图中未标出),以防止停车时液体倒流入泵壳内而造成事故。当电动机通过泵轴带动叶轮转动时,液体便经吸入管从泵壳中心处被吸入泵内,然后经排出管从泵壳切线方向排出。离心泵输送液体的过程就是由吸入和排出两个过程组成的。

当泵内液体从叶轮中心被甩出时,在叶轮中心处形成了一定真空的低压区。这样,造成了吸入管贮槽液面与叶轮中心处的压差。在此静压差的作用下,液体便沿着吸入管连续地进入叶轮中心,以补充被排出的液体。由此可见,离心泵之所以能输送液体主要是依靠叶轮的不断地高速旋转,使液体在离心力的作用下获得能量以提高压力。

只有在泵壳内充满液体时,液体从叶轮中心流向边缘后,在叶轮中心处形成低压区,泵才能正常和连续地输送液体。为此,在离心泵启动前,需先用被输送的液体把泵灌满,称作灌泵。启动后,高速旋转的叶轮带动叶片间的液体作旋转运动。在离心力的作用下,液体便从叶轮中心被甩向叶轮边缘,流速可增大至 15～25 m/s,动能得到增加。当液体进入泵壳之后,由于蜗壳形泵壳中的流道逐渐扩大,流速逐渐降低,一部分动能转变为静压能,于是液体以较高的压力被压出。

离心泵启动时,如果泵壳与吸入管路内没有充满液体,则泵壳内存有空气。由于空气的密度小于液体的密度,产生的离心力小,因而,叶轮中心处所形成的低压不足以将贮槽内的液体吸入泵内。此时虽启动离心泵也不能输送液体,这种现象称为气缚。气缚表示离心泵无自吸能力。通常,在吸入管末端安装底阀,目的就是为了在第一次开泵时,使泵内容易充满液体。

为了减少液体直接进入泵壳时产生的碰撞,有些泵在叶轮与泵壳之间装有一个固定不动而带有叶片的导轮,如图 3.90 所示。由于导轮具有很多逐渐转向的流道,可以使高速液体流过时能均匀而缓和地将动能转变为静压能,从而减小能量损失。

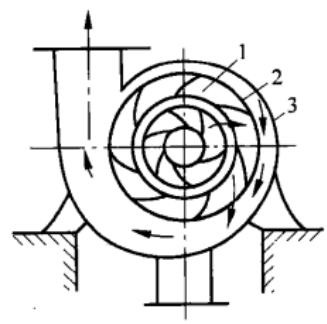


图 3.90 带有导轮的离心泵结构示意

1—导轮;2—叶轮;3—泵壳

2) 离心泵的主要性能参数

要正确地选择和使用离心泵,就必须掌握其性能。标志离心泵性能的参数有流量、扬程、效率、轴功率、转速和允许吸上真空高度等,这些参数均标注在泵的铭牌上。

(1) 流量

离心泵的流量又称送液能力,是指泵单位时间内能输送的液体量,常以体积流量表示,其单位是 L/s 或 m^3/h。离心泵流量的大小取决于泵的结构、叶轮的直径、叶片的宽度和转速。泵的实际送液能力都是由实验测定的。

(2) 扬程

泵的扬程又称为泵的压头,是指单位质量的液体通过泵以后所获得的有效能量,单位为 m 液柱。离心泵扬程的大小,取决于泵的结构,如叶轮的直径的大小、叶片的弯曲情况、转

速及流量等。对某一台泵，在一定的转速下，扬程与流量之间具有一定的函数关系。泵的扬程也是借助实验进行确定。

(3) 效率与轴功率

由于液体在泵内流动时的冲撞与摩擦产生水力损失，叶轮外缘与泵壳和叶轮吸入口与泵壳之间有缝隙，使排出液体又漏回吸入口造成容积损失，此外，泵在运转时轴承、轴封装置等机械部件因摩擦引起机械损失，泵轴从电动机得到的功率并不等于液体从泵得到的功率(有效功率)。上述三项能量损失的总和反映了泵效率，即泵的效率为有效功率与泵轴功率的比值。

3) 离心泵的特点和适用范围

离心泵的特点如下：

① 当离心泵的工况点确定后，离心泵的流量和扬程是稳定的，而吸入压力一定时，扬程即为离心泵的排出压力；

② 流量(或扬程)一定时，只能有一个相对应的扬程(或流量)值；

③ 离心泵的流量不是恒定的，而是随其排出管路系统的特性不同而不同；

④ 离心泵的效率因其流量和扬程而异，大流量、低扬程时，效率较高，可达 80%；小流量、高扬程时，效率较低，甚至只有百分之几；

⑤ 一般离心泵无自吸能力，启动前需灌泵；

⑥ 可用旁路回流、出口节流或改变转速调节流量；

⑦ 离心泵结构简单，体积小、质量轻、易损件少，安装、维修方便。

离心泵的流量和扬程范围较宽，一般离心泵的流量为 1.6～30 000 m^3/h，扬程 10～2600 m。国产离心泵的流量和扬程范围可参见表 3.8。

表 3.8 国产离心泵的流量和扬程范围

离心泵形式	流量/(m^3/h)	扬程/m	离心泵形式	流量/(m^3/h)	扬程/m
卧式单级单吸离心泵	3.5～1740	4～330	立式多级离心泵	6～155	23～1000
卧式单级双吸离心泵	50～18 000	9～280	液下泵	2～824	6～110
立式单级离心泵	30～28 800	2.5～230	管道泵	5.4～450	20～150
卧式多级离心泵	11～1200	12～2360			

4) 离心泵的汽蚀现象和原因

(1) 汽蚀现象

离心泵运行时，如泵内某区域液体的压力低于当时温度下的液体汽化压力，液体会开始汽化产生气泡；也可使溶于液体中的气体析出，形成气泡。当气泡随液体运动到泵的高压区后，气体又开始凝结，使气泡破灭。由于气泡破灭速度极快，使周围的液体以极高的速度冲向气泡破灭前所占有的空间，即产生强烈的水力冲击，引起泵流道表面损伤，甚至穿透。这种现象称为汽蚀。

离心泵产生汽蚀时，流量、扬程、效率将明显降低，同时伴有噪声增大和泵的剧烈振动。

(2) 汽蚀原因

离心泵的汽蚀主要是被送液体进入叶轮时的压力降低，导致液体的压力低于当时温度的液体气化压力而产生的，使泵不能正常工作，长期运行后叶轮将产生蜂窝状损伤或穿透。

引起离心泵吸入压力过低的因素有：上吸泵的安装高度过高，灌注泵的灌注头过低；泵吸入管局部阻力过大；泵送液体的温度高于规定温度；泵的运行工况点偏离额定点过多；闭式系统中的系统压力下降。

5）离心泵的特性曲线

离心泵的主要性能参数流量、扬程、轴功率及效率之间的关系，可用离心泵的特性曲线来说明。此曲线由泵的制造厂提供，并附于泵的样本或说明书中，供使用部门选泵和操作时参考。

如图 3.91 所示为离心泵的特性曲线，由 Q-H、Q-η、Q-P 及 Q-NPSHR 四条曲线所组成。实验条件是在转速一定（n=2900 r/min）的情况下，以稳定流动的清水为介质，在 20℃的温度下进行测定。特性曲线随转速而变，故特性曲线上一定要标出转速。各种型号的离心泵有其独自的特性曲线，但它们都具有以下的共同规律。

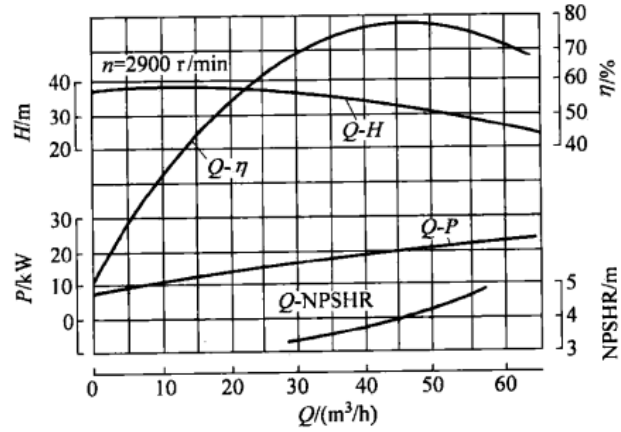


图 3.91 离心泵的特性曲线

P—功率；H—扬程；Q—流量；η—效率；NPSHR—汽蚀余量

① Q-H 曲线，表示泵的扬程与流量的关系。离心泵的扬程一般是随流量的增大而下降，只有在流量极小时，可能有例外。

② Q-P 曲线，表示泵的轴功率与流量的关系。泵的轴功率随流量的增大而上升，流量为零时轴功率最小。所以离心泵启动时，应关闭泵的出口阀门，使启动电流减少，以保护电动机。

③ Q-η 曲线，表示泵的效率与流量的关系。当 Q=0 时，η=0；随着流量的增大，泵的效率随之上升并达到最大值；以后流量再增，效率便下降。说明离心泵在一定转速下有一最高效率点。泵在最高效率相对应的流量及压头下工作最为经济。

④ Q-NPSHR 曲线，表示必需的汽蚀余量与流量之间的关系。

离心泵铭牌上标出的性能参数就是指该泵在运行时，效率最高点的状况参数。根据输送条件要求，离心泵往往不可能正好在最佳工况点下运转，因此一般只能规定一个工作范围，称为泵的高效区，通常指为最高效率 92%左右的范围内，见图 3.91。选用泵时，应尽可能使泵在此范围内工作。

需要注意的是，离心泵生产部门所提供的特性曲线一般都是在一定转速和常压下，以常温（20℃）的清水为实验流体测得的。在制药生产中，所输送各种液体的密度、黏度等物理性质各不相同，若用同型号的泵输送不同流体时，泵的性能就要发生变化。因此，泵用于物理性质与水的性质差异较大的液体时，应当查阅有关资料重新换算。

6）离心泵的类型与选用

（1）离心泵的类型

在制药生产中，被输送液体的性质、压力、流量等差异很大，为了适应各种不同要求，应选用各自适宜的离心泵。离心泵的类型有很多，按被输送液体的性质可分为水泵、耐腐蚀泵、油泵、杂质泵等；按所产生的压力，可分为低压泵、中压泵和高压泵。低压泵大多数是单级泵，而中压泵和高压泵大多数是多级泵。

水泵中应用最广泛的是单级单吸悬臂式离心泵，结构如图 3.92 所示。它只有一个叶轮，从泵的一侧吸液，叶轮装在伸出轴承外的轴端上，统称为单级水泵。泵体和泵盖都是用铸铁铸成。全系列扬程范围为 8～98 m，流程范围为 4.5～360 m^3/h。

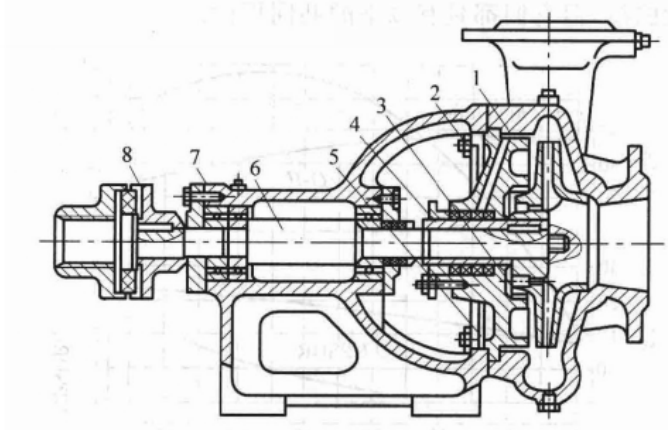


图 3.92 单级单吸悬臂式离心水泵结构

1—泵体；2—叶轮；3—密封环；4—护轴套；5—后盖；6—泵轴；7—托架；8—联轴器

若要求压头较高而流量并不太大时，可采用如图 3.93 所示的多级泵。多级泵一般为 2～9 级，最多可到 12 级。其工作原理是在多级泵的轴上装有多个叶轮，从一个叶轮流出的液体通过泵壳内的导轮引导液体改变流向，同时将一部分动能转变为静压能，然后进入下一个叶轮入口。液体在数个叶轮中多次接受能量，故可达到较高的压头。全系列扬程范围为 14～351 m，流量范围为 0.8～850 m^3/h。

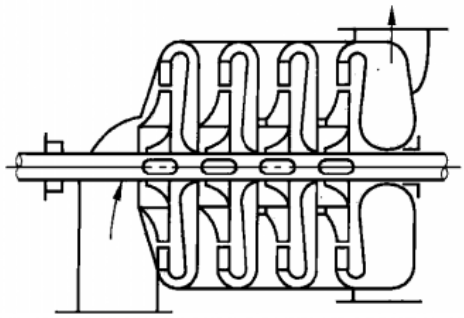


图 3.93 多级泵结构

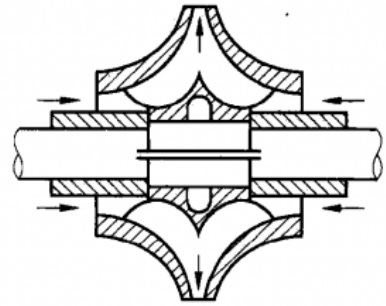


图 3.94 双吸泵工作叶轮结构

若输送液体的流量较大而所需的压头并不高时，则可采用双吸泵。双吸泵的叶轮有两个入口，如图 3.94 所示。由于双吸泵叶轮的厚度与直径之比加大，且有两个吸入口，故送液量较大，全系列扬程范围为 9～140 m，流量范围为 120～12 500 m^3/h。

在制药生产中，许多液体都是有腐蚀性的，这就要求采用耐腐蚀泵，其主要特点是和液体接触的部件用耐腐蚀性材料制成，如灰口铸铁（用于输送浓硫酸）、高硅铸铁（用于输送压力不高的硫酸或以硫酸为主的混酸）、铬镍合金钢（用于常温和低浓度的硝酸、氧化性酸液、碱液和其他弱腐蚀性液体）、铬镍铝钛合金钢（最适用于硝酸及常温的高浓度硝酸）、聚三氟乙烯塑料（适用于90℃以下的硫酸、硝酸、盐酸和碱液）。耐腐蚀泵结构基本上与水泵相同，耐腐蚀泵的扬程范围为15～105 m，流量范围为2～400 m^3/h。

油泵用于输送不含固体粒子的石油及其制品，分有单级和多级、单吸式和双吸式几种形式。

杂质泵用于输送悬浮液及稠厚的浆液。又可分为污水泵、砂泵、泥浆泵等，对这些泵的要求是不易堵塞、耐磨、易清洗等。

（2）离心泵的选用

离心泵的选择，一般可按下列方法和步骤进行。

① 选定泵的类型。根据被输送液体的性质和操作条件确定泵的类型，例如输送清水选用清水泵，输送酸则选择耐腐蚀泵，输送油则选油泵等。

② 确定输送系统的流量和压头。按生产任务的要求确定液体的输送量，一般应按最大流量考虑。根据输送系统管路，用伯努利方程计算在最大流量下管路所需扬程，然后用已确定的流量 Q 和扬程 H 从泵样本或产品目录中选出合适的型号，即找出工况点，使泵在该点条件下工作时，既满足管路系统所需流量和扬程，又能为泵的输送能力所保证。所选的泵可以稍大一点，但应在该泵的高效区内，即在泵最高效率92%范围所对应的 Q-H 曲线的下方，该点落在哪种泵的高效区，就选用哪个型号的泵。

③ 校核电动机的功率。如果液体的密度与水的密度相差较大时，应注意核算泵的轴功率。

2. 其他类型的泵

制药生产中，被输送的液体性质往往差异很大，工作状态也多种多样，对泵的要求也不尽相同。除了大量使用离心泵外，还广泛采用了其他形式的泵，这里介绍几种生产中常用的输送泵。

1）往复泵和计量泵

往复泵为容积式泵中的一种，由泵缸、缸内的往复运动件、单向阀（吸出液体和排出液体）、往复密封以及传动机构等组成，其工作原理如图3.95所示。

泵缸内的往复运动件做往复运动，周期性地改变密闭液缸的工作容积，经吸入液单向阀周期性地将被送液体吸入工作腔内，在密闭状态下通过往复运动件的位移将原动机的能量传递给被送液体，并使被送液体的压力直接升高，达到需要的压力值后，再通过排液单向阀排到泵的输出管路。重复循环上述过程，即完成输送液体。按往复运动件的形式，往复泵分为以下3类（参见图3.96）。

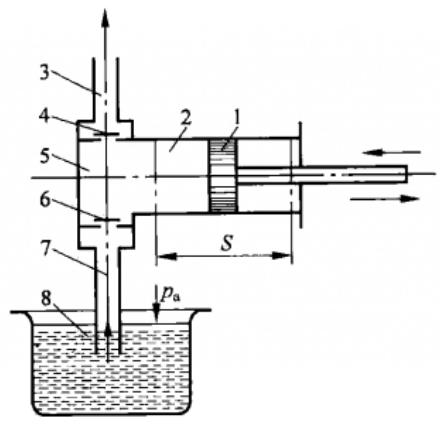


图3.95 往复泵的工作原理

1—往复运动件（活塞）；2—泵缸；3—排出管；4—排出阀；5—工作室；6—吸入阀；7—吸入管；8—容器

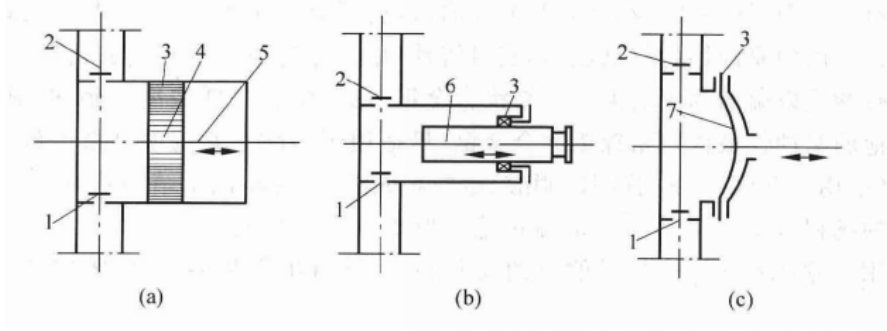


图 3.96 往复泵的基本类型

(a) 活塞泵；(b) 柱塞泵；(c) 隔膜泵

1—吸入阀；2—排出阀；3—密封；4—活塞；5—活塞杆；6—柱塞；7—隔膜

(1) 活塞式往复泵

往复运动件为圆盘(或圆柱)形的活塞，活塞环与液缸内壁贴合而构成密闭的工作腔，活塞在液缸内的位移周期性地改变泵工作腔的容积，从而完成输送液体。活塞泵适用于中、低压工况，最高排出压力小于等于 7.0 MPa，可输送运动黏度小于等于 850 mm^2/s 的液体或物理化学性质接近清水的其他液体。

(2) 柱塞式往复泵

往复运动件为表面经精加工的圆柱体，即柱塞。其圆柱表面与液缸之间构成密闭的工作腔，柱塞进入泵工作腔内的长度周期地改变，从而改变工作腔的容积，完成输送液体。柱塞泵的排出压力很高，最高可达 1000 MPa，甚至更高。

(3) 隔膜式往复泵

隔膜式往复泵往复运动件为膜片，以膜片与液缸之间的静密封构成密闭的工作腔，以膜片的变形周期性地改变泵工作腔的容积，完成输送液体。

隔膜式往复泵的排出压力可达 400 MPa。由于隔膜泵没有泄漏，适用于输送强腐蚀性、易燃易爆、易挥发、贵重以及含有固体颗粒的液体和浆状物料。

上述柱塞式和隔膜式往复泵是计量泵的两种基本形式。在连续和半连续的生产过程中，往往需要按照工艺的要求来精确地输送定量的液体，有时还要将两种或两种以上的液体按比例地进行输送，计量泵就是为了满足这些要求而设计制造的。

计量泵是基于往复泵的流量固定这一特点而发展起来的。除了装有一套可以准确调节流量的调节机构之外，基本构造和往复泵相同。计量泵的流量调节机构都是由转速稳定的电动机通过可调整的偏心轮装置带动活塞而运行，如图 3.97 所示。改变此轮的偏心程度，就能改变活塞的冲程或隔膜的运动次数。在单位时间内活塞的往复次数不变的情况下，流量与冲程成正比，所以它是利用改变冲程或隔膜运动次数的办法，使流量成比例变化。如果冲程不变，设法调整泵的曲柄转数，亦可达到调节流量的目的。

如果用一个电动机同时带动两台或三台计量泵，每台泵输送不同的液体，便可实现各种流体的流量按一定比例进行输送或混合，故计量泵又称为比例泵。

2) 转子泵

转子泵是和往复泵同属正位移泵的一种类型。转子泵的工作原理是由于泵壳内的转子的旋转作用而吸入和排出液体，又称旋转泵。主要有以下两种基本形式。

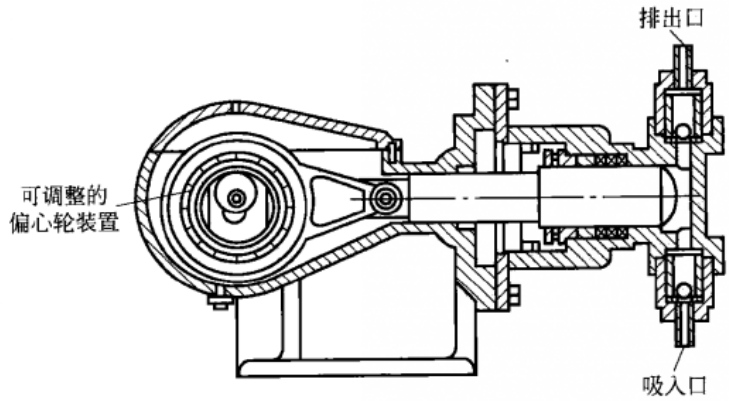


图 3.97 计量泵及其流量调节机构

(1) 齿轮泵

齿轮泵的结构如图 3.98 所示。泵壳内有一对相互啮合的齿轮，其中一个齿轮由电动机带动，称为主动轮，另一个齿轮为从动轮。两齿轮与泵体间形成吸入和排出空间。当两齿轮沿着箭头方向旋转时，在吸入空间因两轮的齿互相分开，形成低压而将液体吸入齿穴中，然后分两路，由齿沿壳壁推送至排出空间，两轮的齿又互相合拢，形成高压而将液体排出。

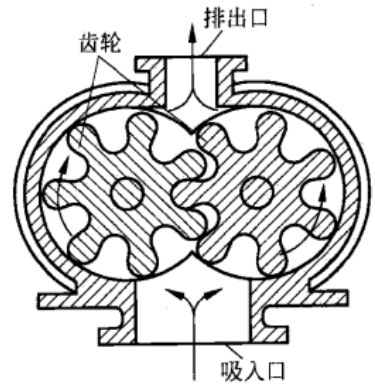


图 3.98 齿轮泵的结构

齿轮泵的压头高而流量小，适用于输送黏稠液体及膏状物料，但不能输送有固体颗粒的悬浮液。

(2) 螺杆泵

螺杆泵主要由泵壳与一个或一个以上的螺杆所组成。图 3.99 所示为单螺杆泵，其工作原理是靠螺杆在螺纹形的泵壳中做偏心转动，将液体沿轴间推进，最后挤压至排出口而推出。图 3.100 所示为双螺杆泵，工作原理与齿轮泵相似，它利用两根相互啮合的螺杆来排送液体。当所需的扬程很高时，可采用长螺杆。

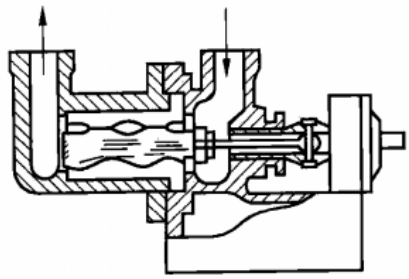


图 3.99 单螺杆泵结构

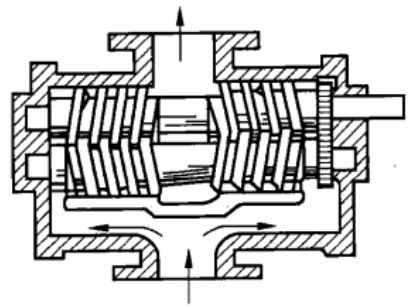


图 3.100 双螺杆泵结构

螺杆泵的扬程高、效率高、无噪声、流量均匀，适用在高压下输送黏稠液体。

综上所述，在制药生产中，离心泵的应用最广。它具有结构简单、紧凑，能与电动机直接相连，对安装技术要求不高，流量均匀，调节方便，可应用各种耐腐蚀材料，适应范围广等优

点。缺点是扬程不高、效率低、没有自吸能力等。

往复泵的优点是压头高、流量固定、效率较高。但其结构比较复杂，又需传动机构，因此，它只适宜在要求高扬程时使用，但其中的计量泵由于流量可调，又能精确计量，是目前正在发展中的一类往复泵。

转子泵是依靠一个以上的转子的旋转来实现吸液和排液的，具有流量小、扬程高的特点，特别适用于输送高黏度的液体。

除上述几种类型泵外，在某些特定的情况下，制药厂中常用的液体输送机械还有如流体作用泵、漩涡泵、喷射泵等。其中流体作用泵是借助一种流体的动力作用而造成对另一种流体压送或抽吸，从而达到输送流体的目的。如酸蛋和喷射泵即为此类型泵。其特点是没有运动部件，结构简单，但效率很低，可用于输送腐蚀性、有毒的液体。

3.5.2 气体压缩与输送设备

在制药生产中，有许多原料和中间体是气体，如氢气、氮气、氧气、乙炔气、煤气、蒸汽等。当它们在管路中从一处送到另一处时，为了克服输送过程的流体阻力，需要提高气体的压力；另外，有些化学反应或单元操作需要在较高的压力下进行，如葡萄糖加氢生产山梨醇等。这使得气体压缩和输送设备在制药生产中应用十分广泛。

气体输送设备与液体输送设备的工作原理和结构大体相同，也可按其结构和工作原理分为往复式、离心式、旋转式和流体作用式等 4 类。但由于气体为可压缩性流体，在输送过程中，当压力发生变化时，其体积和温度也将随之而变化，因而，通常输送气体的设备又可根据气体进、出口产生的压力差或出口同进口压力的比值(称压缩比)来进行分类。

压缩机，终压在 0.3 MPa(表压)以上，压缩比大于 4；

鼓风机，终压为 0.015～0.3 MPa(表压)，压缩比小于 4；

通风机，终压不大于 0.015 MPa(表压)；

真空泵，将低于大气压力的气体从容器或设备内抽至大气中。

1. 往复式压缩机

1) 往复式压缩机结构与工作过程

往复式压缩机的构造及操作原理与往复泵相似，即依靠活塞的往复运动而将气体吸入和压出。与往复泵不同的是，往复式压缩机的吸入和压出阀门较轻，活塞与汽缸间的间隙较小，各处的结合比往复泵要紧密得多。因为工作介质为气体，其密度和比热容都比较小，由摩擦而产生的热能以及气体被压缩时接受机械功所转变的热能将使气体温度显著上升。为避免气体的温度过高，又为了提高压缩机的效率，多数压缩机都有冷却装置。

往复式压缩机的工作过程也与往复泵不同。以单动往复式压缩机为例，其工作过程由膨胀、吸入、压缩和压出 4 个阶段所组成，如图 3.101 所示。当

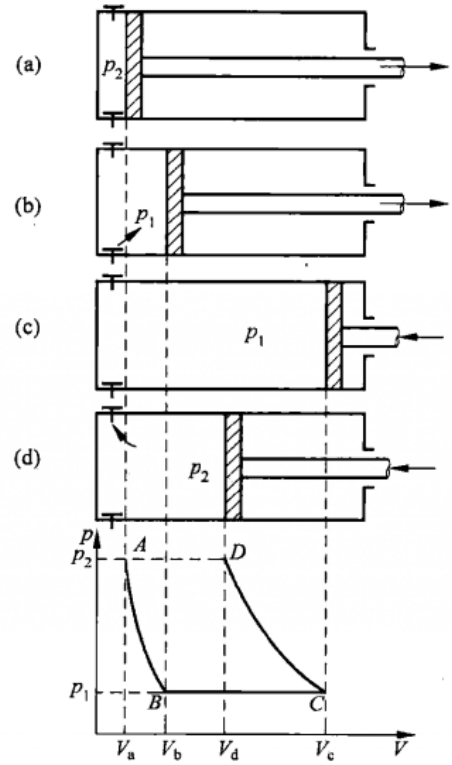


图 3.101 往复式压缩机工作过程示意

活塞运动到最左端时，活塞与汽缸盖之间有一很小的空隙存在，此空隙称为余隙，是为了防止活塞与汽缸盖相碰。图 3.101 中的曲线表示在各阶段中，汽缸内气体的压力和体积的变化情况。由于往复压缩机内有余隙存在，残留的气体占据了部分汽缸空间，使汽缸的空间不能全部被有效利用，这又是与往复泵不同之处。

2）往复式压缩机的类型与选用

往复式压缩机的分类方法很多，通常以其构造、操作特点和排气量的大小作为依据，常见的分类方法如下。

① 按在活塞的一侧或两侧吸、排气体，可分为单动和双动往复式压缩机。

② 按气体受压缩的级数，可分为单级（$p_2/p_1<5$）、双级（$p_2/p_1=5\sim10$）和多级（$p_2/p_1=10\sim1000$）压缩机。

③ 按压缩机所产生的终压大小，可分为低压（1 MPa 以下）、中压（1～10 MPa）、高压（10～100 MPa）压缩机。

④ 按压缩机的排气量可分为小型（10 m^3/min 以下）、中型（10～30 m^3/min）和大型（30 m^3/min 以上）压缩机。

⑤ 按压缩气体种类可分为空气压缩机、氨压缩机、氢压缩机、氮压缩机等。

此外，决定压缩机形式的主要标志是汽缸在空间的位置，如汽缸垂直放置的称为立式压缩机；水平放置的称为卧式压缩机；几个汽缸可互相配置成 L 形、V 形或 W 形称为角式压缩机。

选用压缩机时，应首先根据输送气体的性质确定压缩机的种类；然后根据生产任务及厂房的具体条件，选定压缩机的结构形式；最后根据生产上所需的排气量和工作压强，在压缩机的样本或产品目录中选择合适的型号。

2. 鼓风机

在制药生产中应用最广的是罗茨鼓风机。其工作原理与齿轮泵相似，如图 3.102 所示。

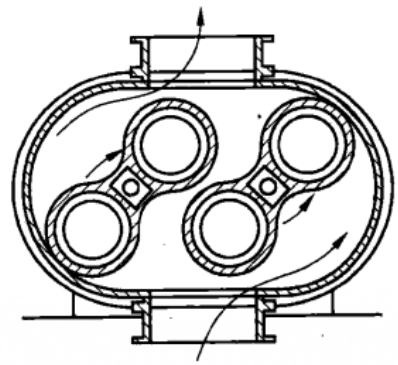


图 3.102 罗茨鼓风机工作原理示意

它主要由一个跑道形机壳和两个转向相反的 8 字形转子所组成。转子之间以及转子和机壳之间的缝隙都很小，两个转子转动时，在机壳内形成了一个低压区和高压区，气体从低压区吸入，从高压区排出。如果改变转子的旋转方向，则吸入口和压出口互换。因此，在开车前应仔细检查转子的转向。

罗茨鼓风机的特点是：结构简单，转子啮合间隙较大（一般 0.2～0.3 mm），工作腔无油润滑，强制性输气风量风压比较稳定，对输送带液气体、含尘气体不敏感，单级压力比通常小于 2，两级可达 3，最大排气量可达 500 m^3/min；转速较低（一般 $n\leqslant1500$ r/min），噪声较大，热效率较低。通常罗茨鼓风机用作输送气体，也大量用作真空泵。

3. 通风机

如前所述，通风机是一种在低压下沿着导管输送气体的机械。在制药生产中，通风机的使用非常普遍，尤其是在高温和毒气浓度较大的车间，常用它来输送新鲜空气、排除毒气和降低气温等，这对保证操作人员的健康具有很重要的意义。

通风机可分为轴流式、离心式、斜流式和惯流式等多种形式，生产中应用较多的是轴流式通风机和离心式通风机。

1）轴流式通风机

轴流式通风机工作原理如图 3.103 所示，在机壳内装有迅速转动的叶轮，叶轮上固定着叶片。当叶轮旋转时，叶片推击空气，使之作与轴平行方向的流动，叶片将能量传给空气，使气体的排出压力略有增加。轴流式通风机的排气量大，但风压很小。

轴流式通风机的叶片可用等厚钢板制成圆弧形或抛物线形，也可由钢板制成中空的机翼形或铸成机翼形。输送腐蚀性气体时，叶片应采用不锈钢或在普通钢材上喷涂树脂。输送含尘较多的气体时，则应在叶片较易磨损的部分堆焊碳化钨或其他耐磨材料。

轴流式通风机常装在需要送风的墙壁或顶板上，也可以临时放置在一些需要送风的场合。

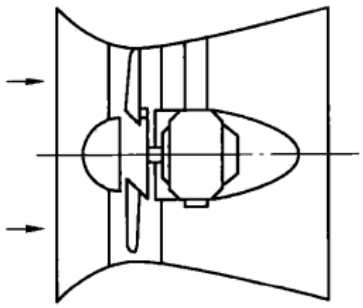


图 3.103 轴流式通风机工作原理示意

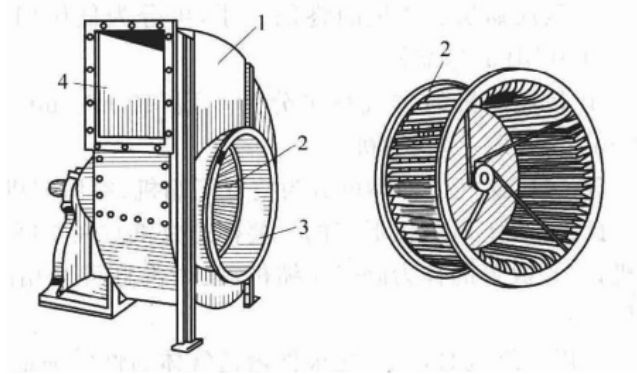


图 3.104 离心式通风机

1—机壳；2—叶轮；3—吸入口；4—排出口

2）离心式通风机

离心式通风机的结构和工作原理与离心泵相似。它的机壳也是蜗壳形，但蜗壳断面有矩形和圆形两种形式。叶片的基本形状有圆弧形、直线形和机翼形 3 种。一般低、中压离心式通风机多是矩形机壳，如图 3.104 所示，叶片的数目较多且长度较短。低压离心式通风机的叶片常是平直的，与轴心成辐射状安排。中、高压通风机的叶片多是向后弯曲的。由电动机带动的高速旋转的叶轮，带动壳内气体旋转，在离心力作用下，气体流向叶轮的外圆处，速度增加，动压头加大。气体进入蜗壳时，一部分动压头转变为静压头，从而使气体在具有一定的静压头与动压头下排出。与此同时，中心处产生低压，将气体源源不断地吸入壳内。

根据生产的风压不同，离心式通风机可分成 3 类，即低压离心式通风机（出口压力大于 1 kPa（表压））；中压离心式通风机（出口压力在 1～3 kPa（表压））和高压离心式通风机（出口压力在 3～15 kPa（表压））。中、低压离心式通风机主要用做车间通风换气，高压离心式通风机主要用做气体输送。

4. 真空泵

在制药生产中，有许多生产过程需要在低于大气压或真空情况下进行，如过滤、干燥、真空蒸馏、真空蒸发等，这就需要从设备中抽出气体，产生真空。真空泵就是获得低于大气压力的一种机械设备。

1）真空泵的类型

真空泵分为干式和湿式两大类。干式真空泵只能从容器中抽出干燥气体，它产生的真空度可达96%～99.9%。湿式真空泵在抽吸气体时允许带有较多的液体，它产生的真空度为85%～90%。

真空泵的形式很多，其分类如下。

(1) 按实现真空的工作原理分类

① 抽除式。真空泵抽吸系统中的气体，并将气体分子排至系统之外。

② 抽集式。真空泵捕集系统中的气体分子，直接吸附在泵工作壁面上而不排出系统。

(2) 按真空泵结构分类

① 机械式。这类真空泵类似于压缩机，属于容积型的有往复式与回转式结构，还有属于动力式的涡轮分子泵，它们都属于抽除式真空泵。

② 喷射泵。有喷射泵与扩散泵两种形式，还有将二者组合在一起的增压泵，也都属于抽除式真空泵。

③ 吸着式。依靠物理或化学方法使气体分子吸着在泵壁表面，属于捕集式真空泵。

(3) 按真空泵在系统中的工作职能分类

① 主抽气泵。实现所要求压力的主要工作泵。

② 预抽气泵。当主抽气泵不能在大气状态直接开始抽吸时，需要预抽泵先抽至某一压力，主抽气泵方能进入工作。

③ 前级泵。当主抽气泵不能将所抽气体直接排入大气时，需串接前级泵排送。

④ 维持泵。当主抽气泵完成所要求的压力停止工作后，由于系统泄漏或表面蒸发等原因，压力可能升高，因此用维持泵继续抽吸。

2）常用真空泵结构和工作原理

(1) 往复式真空泵

往复式真空泵是一种干式真空泵，是最古老的结构形式，其构造和工作原理与往复式压缩机基本相同，只是其吸气阀、排气阀要求更加轻巧，启闭更灵敏。真空泵的压缩比往往比压缩机的压缩比大得多。往复式真空泵结构坚固、运行可靠、对水分不敏感，极限压力为1～2.6 kPa，抽速范围50～600 L/s。主要用于大型抽真空系统，如真空干燥、真空过滤、真空浓缩、真空蒸馏、真空洁净以及其他气体抽除等。往复式真空泵不适于抽除含尘或腐蚀性气体，除非经过特殊处理。由于一般泵体汽缸都有油润滑，所以有可能污染系统的设备。

往复式真空泵由于转速低、排气量不均匀、结构复杂、零件多、易于磨损等缺陷，近年来已越来越多地被其他形式的真空泵所取代。

(2) 油封式旋片真空泵

图3.105所示为常见的小型油封式旋片真空泵，

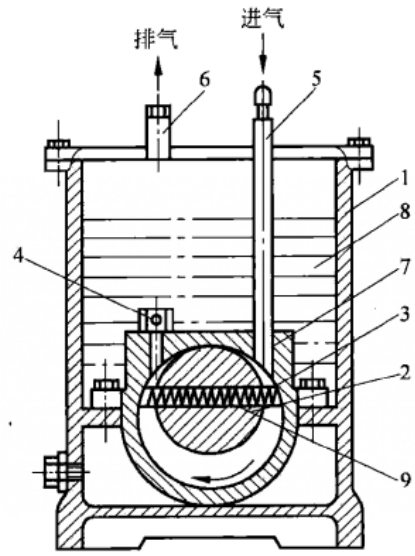


图3.105 油封式旋片真空泵

1—外壳；2—转子；3—旋片；4—排气阀；5—吸入管；6—排气管；7—泵体；8—油；9—弹簧

在圆筒形壳体内，偏心地安装着一个绕自身轴线旋转的转子。通常，转子上开有贯穿槽，槽内放置弹簧和两块旋片，旋片受弹簧作用紧贴在泵体内壁，并把泵腔分成两个工作室。旋转时，转子与泵腔始终处于内切状态，旋片随之旋转，在离心力的作用下进一步贴紧壳体内壁。通过工作室周期性地扩大和缩小，将气体吸入和排出。油封式旋片真空泵的全部机件浸在真空油内。油起着油封、润滑和冷却作用。所产生真空度的大小，取决于系统中物料、真空油的蒸气压以及泵内机件的加工精度。这种类型的泵可用来抽除潮湿性气体，但不适于抽吸含氧过高、有爆炸性、有腐蚀性、对泵油起化学作用以及含有颗粒尘埃的气体。

(3) 水环真空泵

水环真空泵(简称水环泵)是制药厂常用的一种真空泵，属于湿式真空泵。其结构如图 3.106 所示。外壳 1 中偏心地安装着一个叶轮，叶轮上有许多径向的叶片。开车前，泵内灌有适量的水，叶片旋转时水被甩向壳壁，形成转动的水环 3。水环兼有液封和活塞作用，将叶片之间分隔成许多大小不等的密闭空间。叶片旋转时，右边小室逐渐增大，气体从吸入口 4 吸入室内，而在左侧小室逐渐缩小，气体从排出口 5 排出。水环真空泵的特点是构造简单紧凑、没有阀门、很少堵塞、排气量大而均匀、无需润滑，易损件少、工作可靠。但是由于泵内有水，总有水蒸气分压存在，所以不能产生很高的真空度。

水环真空泵适用于抽含有液体的气体，尤其是输送有腐蚀性或有爆炸性的气体。

(4) 喷射式真空泵

喷射式真空泵(简称喷射泵)的工作原理是利用压力流体为动力，在其通过喷嘴后产生高速运动，并在喷嘴周围产生负压，由此抽吸系统中的气体并引射至排出口，从而完成输送流体的装置，故又称流体作用泵。它既可输送液体也可输送气体。在制药生产中，喷射泵主要用于抽真空，也可作混合器使用。

喷射泵的工作流体可以是蒸汽，也可以是液体或气体。常见的单级蒸汽喷射泵的结构如图 3.107 所示。工作蒸汽通过绝热膨胀，将压力能转化为速度能，以超音速的速度由

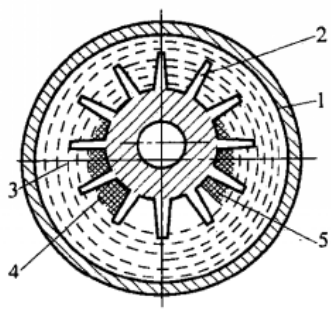


图 3.106 水环真空泵结构示意图

1—外壳；2—叶片；3—水环；4—吸入口；5—排出口

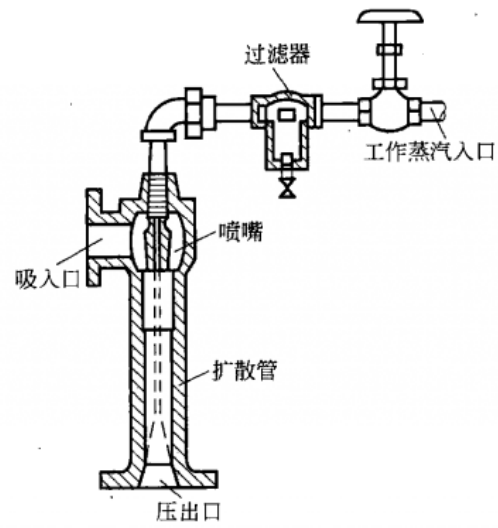


图 3.107 单级蒸汽喷射泵

喷嘴喷出，同时压力降低。工作蒸汽与被抽吸气体在混合室进行混合，同时也进行能量交换。当流体流至扩压器的前段时，一边进行能量交换，一边逐渐压缩，至喉部时完成混合过程，速度可达音速范围。在扩压器的后段，速度逐渐降低，压力升高，最后从压出口排出。

喷射泵的特点是，构造简单、紧凑、没有活动部件，可以用各种耐腐蚀材料制作。但效率很低，只有10%～25%，并且只用于工作流体与输送流体可以混合的场合。用蒸汽作为工作流体时，蒸汽消耗量大，启动缓慢，因此一般不用于输送气体。

单级蒸汽喷射泵可以产生绝对压为13 kPa的低压，若要得到更高的真空度，可采用多级喷射泵。过滤器工作蒸汽入口喷嘴吸入口扩散管压出口。

3.6 其他形式输送机

3.6.1 螺旋输送机

螺旋输送机也称蜗杆输送机，是利用带有螺旋叶片的螺旋轴的旋转产生沿螺旋面的相对运动，物料受到料槽或输送管臂的摩擦力作用不与螺旋一起旋转，从而将物料推移向前实现物料输送的机械。图3.108是其基本结构图，由驱动装置、传动轴、螺旋片、料槽、支撑装置等组成。

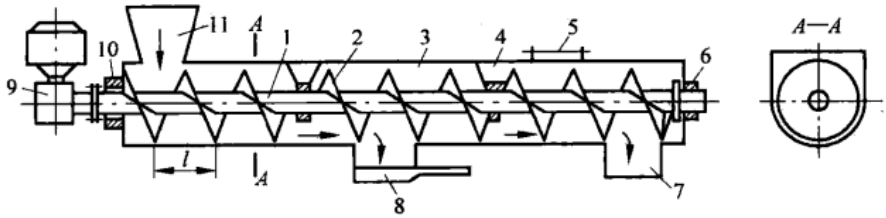


图3.108 水平螺旋输送机结构示意图

1—传动轴；2—螺旋片；3—料槽；4—中间轴承；5、11—装载料口；6—末端轴承；7、8—卸料口；9—驱动装置；10—首端轴承

工作时，驱动装置9带动传动轴1旋转，物料由装载料口5和11装入，安装在传动轴上的螺旋片2推动装入料槽3的物料并使之沿着螺旋轴线方向移动，从卸料口7、8卸出，完成物料输送任务。

螺旋输送机的优点是结构简单、紧凑，没有空返分支，因而横截面小，可在多点装卸物料；成本低，工作可靠，易于维修；能在料槽内实现密闭输送，对环境污染小。其缺点是物料输送过程中阻力大，单位功率消耗大；螺旋和料槽容易磨损，物料也可能破碎；对超载较敏感，易产生堵塞现象。因此，一般螺旋输送机输送距离较短，生产率较低，适于输送摩擦性较小的散料。

3.6.2 斗式输送机

斗式输送机是在垂直方向上输送散料的连续输送机械。它的牵引构件可以是运输带或链条，绕过上部和底部的滚筒或链轮，每隔一定距离装一料斗，由上部滚筒或链轮驱动，形成具有上升的有载分支和下降的无载分支的无端闭合环路。物料从有载分支的下部供入，由

料斗提升至上部卸料口卸出。按卸料方式的不同，斗式输送机可分为离心卸料型、导板卸料型和完全卸料型，分别如图 3.109 所示。

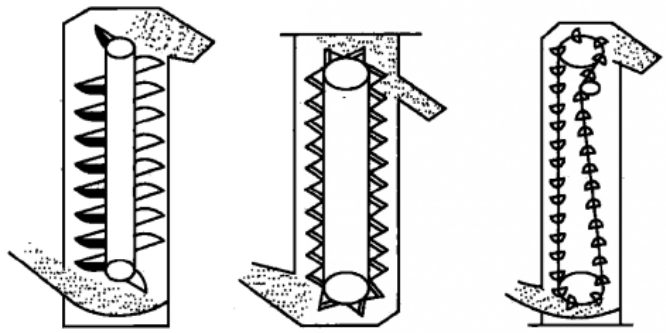


图 3.109 斗式输送机示意图

离心卸料型是利用斗子在顶部链轮或滚筒处回转产生的离心力将物料抛出，其特点是提升速度比较高，一般为 90 m/min，输送量较低。但由于物料输送过程中容易产生尘土飞扬，不适用于粉尘状物料的输送。

导板卸料型的料斗一个接一个，在顶部卸料时利用前一个料斗的背面作为导板，将物料引入卸料口，为此料斗背两侧应有挡板。其特点是速度较低，一般为 60 m/min，由于料斗间距短，输送量仍然较大。它在卸料时不会发生物料与卸料挡板的冲击，故障少，可靠耐用。但不适用于黏性物料，造价较高。

完全卸料型与离心卸料型相似，只在顶部端链轮的卸料侧增加一个改向链轮，链条从改向链轮的内侧绕过，这样可使料斗内的物料完全卸出。其特点是速度较慢，(约 35 m/min)，运输量较小，但卸料时斗口垂直向下，即使黏性物料也能靠自身质量较容易卸出。

斗式输送机的优点是结构比较简单，横向尺寸小，可节约占地面积，并可在全封闭的罩壳内工作，减少灰尘对环境污染。缺点是对过载较敏感，斗和链易磨损；被输送物料受到一定限制，只适宜输送粉粒状和中小块状的散料，且不能在水平方向输送物料。

3.6.3 气力输送机

气力输送机是采用风机使管道内形成气流来输送物料的输送机械。其原理是利用一定能量的空气流和物料构成悬浮混合物，迫使物料沿着一定的管路从一处移动到目的地，然后将物料从气流中分离出来。主要用于输送粉状、粒状及块度不大于 30 mm 的小块物料，有时也输送成件物料。对不同的物料，选择不同的气流速度，既要保证物料在管道内呈悬浮状态，不堵塞管道，又要尽可能多输送物料，做到经济合理。

气力输送机主要由送风装置(鼓风机、抽气机或气泵等)、输送管道及管件、供料器、除尘器等组成，其基本类型有以下三种。

1. 吸引式气力输送机

如图 3.110 所示，鼓风机 6 在系统中造成负压，产生吸力，物料在吸嘴 1 处随空气而被吸入管道 2，形成空气与物料的混合气流，到达容积式分离器 3 时，由于容积突然增大，因而混合流的速度急剧下降并突然改变运动方向，使悬浮在气流中的物料失去其原流动

速度，与空气分离而坠落，并由卸料器 4 卸出。空气流经除尘器 5 除尘后，通过鼓风机排入大气。

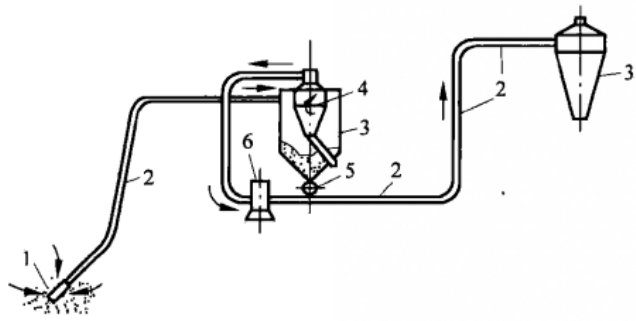


图 3.110 吸引式气力输送机示意图

1—吸嘴；2—管道；3—容积式分离器；4—卸料器；5—除尘器；6—鼓风机

吸引式气力输送机的特点是可装配多根吸料管，同时从多处吸取物料，但输送距离不能过长。由于真空的吸力作用，供料装置简单，吸料点不会有粉尘飞扬，对环境污染小，但对管路系统的密封性要求较高，且进入风机的空气必须除尘，以保证风机可靠工作和减少零件磨损。

2. 压送式气力输送机

如图 3.111 所示，鼓风机 1 在系统内产生正压，物料从进料器 2 进入系统，被压缩空气吹入管道 3，到达分离器 4，物料从卸料器 5 卸出，气流经除尘器 6 滤去杂质后直接排入大气。

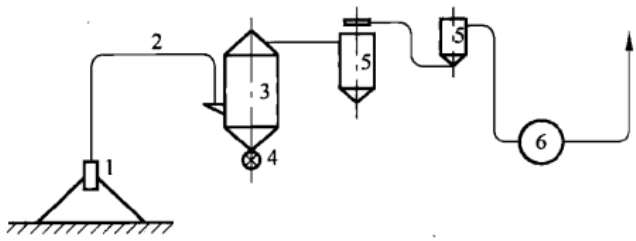


图 3.111 压送式气力输送机组成示意图

1—鼓风机；2—进料器；3—管道；4—分离器；5—卸料器；6—除尘器

压送式气力输送机的特点是可实现长距离输送，生产效率较高，并可由一个供应点向几个卸料点输送，风机工作条件较好，但它要把物料送入高于外界气压的管道中，所以供料器比较复杂。

3. 混合式气力输送机

混合式气力输送机由吸引式和压入式两部分组成，如图 3.112 所示。物料从吸嘴 1 进入输料管 2 被吸送至分离器 3，经下部的卸料器 5（又起着押送部分供料的作用）卸出并送入压送部分的输料管，而从分离器 3 中的除尘器 4 出来的空气经风管至鼓风机 6 压缩后进入输料管，把物料压送至卸料点（分离器），物料被再次分离出来，而空气则由分离器上部排出。

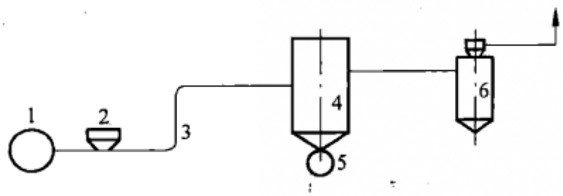


图 3.112 混合式气力输送机

1—吸嘴；2—输料管；3—分离器；4—除尘器；5—卸料器；6—鼓风机

混合式气力输送机的特点是兼有吸送式和压送式的优点，可多点吸入和多点卸出物料；但它结构较复杂，且鼓风机工作条件较差。

气力输送机的优点可改善劳动条件，提高生产效率，有利于实现自动化；结构简单，没有牵引构件，不受管路周围条件和气候影响，输送管道能灵活布置，适应各种装卸工艺。其缺点是动力消耗较大，噪声大；被输送物料有一定的限制，不宜输送潮湿的、黏性的和易碎的物料；在输送磨损性大的物料时管道等部件容易磨损。

4 起重堆垛

有轨巷道堆垛起重机通常称为巷道堆垛起重机，简称堆垛机，是自动化立体仓库中重要的货物存取设备之一。堆垛机的起重量一般在 2 t 以下，特殊需要的可达 10 t 以上，使用高度一般在 10～25 m 之间，高者可达 50 m。

4.1 堆垛机的分类及组成

4.1.1 堆垛机的分类

堆垛机根据使用要求，类型多种多样，一般可以分类如下。

1. 按支承方式分类

(1) 地面支承型堆垛机

运行在地面铺设的轨道上，是常用的堆垛机类型，如图 4.1 所示。

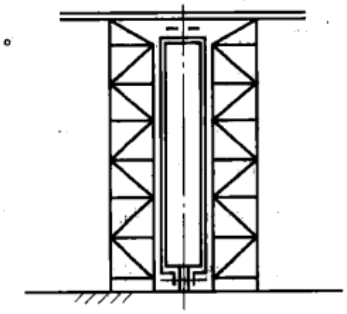
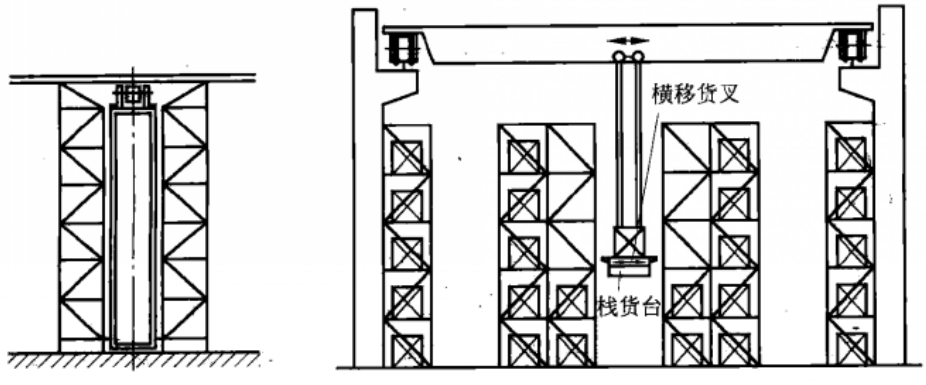


图 4.1 地面支承型堆垛机

(2) 悬挂型堆垛机

挂在巷道上部装设的轨道下翼缘上运行，一般用于轻型、小型物体堆垛工作，自重小，如图 4.2(a)所示。图 4.2(b)是桥式起重机构造形式，常用于旧厂房改为立体仓库时使用。



(a) (b)

图 4.2 悬挂型堆垛机

(3) 上部支承型堆垛机

在货架上部铺设的轨道上运行，适宜在巷道地面要求较高且不宜铺设地轨的场合使用。一般也用在轻小型物体的堆垛，如图 4.3 所示。

2. 按用途分类

(1) 单元型堆垛机以托盘单元或货箱单元进行出入库作业的堆垛机，是自动化立体仓库最常见的类型，如图 4.4 所示。

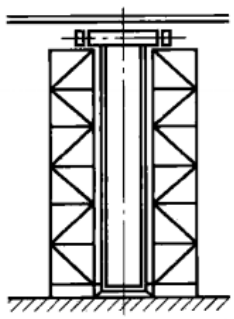


图 4.3 上部支承型堆垛机

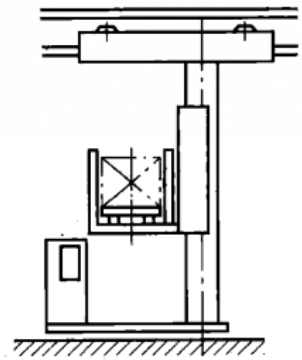


图 4.4 单元型堆垛机

(2) 机室同步型堆垛机到达指定的货格，由操作人员从货格内的托盘或货箱中存取少量货物进行出入库作业的堆垛机，如图 4.5 所示。这种堆垛机的载货台没有专用的机械存取装置(如货叉)，一般只有一个拣选平台，存取拣选的物品。

(3) 拣选-单元混合型堆垛机是一种带有司机室的堆垛机。载货台既有货叉，可以将货物单元整箱(托盘)从货格中存取，也可由操作人员从货格内托盘或货箱中拣取少量货物，具有单元型与拣选型综合功能的堆垛机，如图 4.6 所示。

3. 按控制方式分类

(1) 手动式堆垛机

司机在堆垛机上直接进行手动控制行走、起升、货叉机构伸缩动作的堆垛机，属于简易型堆垛机，仅有部分还在少量应用，如图 4.7 所示。

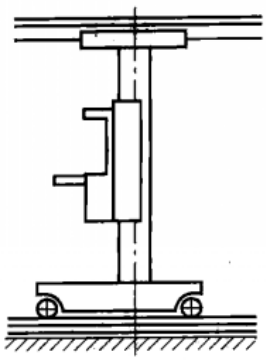


图 4.5 机室同步型

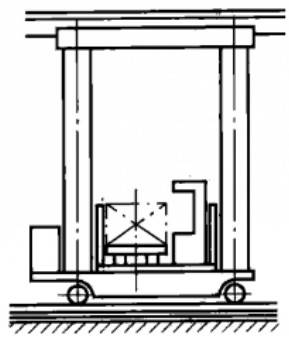


图 4.6 拣选-单元混合型堆垛机

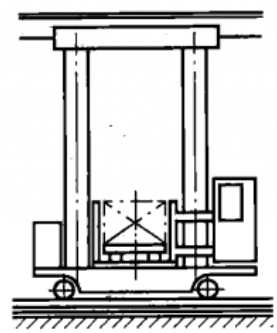


图 4.7 手动式堆垛机

(2) 半自动式堆垛机

与手动控制的方式基本相同,而行走与起升位置的准确定位由自动控制完成。

(3) 全自动式堆垛机

在堆垛机机体上装有全自动控制装置,操作键盘设在堆垛机的巷道口前端或设在堆垛机司机室内,操作者站在巷道口或坐在司机室操作键盘等输入装置,输入出入库作业指令,堆垛机便能自动完成出入库作业。这种方式称为单机自动。再进一步在堆垛机机体的控制装置装有通信接口,通过有线或无线方式的通信装置与仓库计算机相连,通过计算机输入指令,操作堆垛机作业,称为全自动堆垛机。

4. 按结构分类

(1) 单立柱型堆垛机

单立柱型堆垛机是在机体结构上只有一根立柱的堆垛机,如图 4.8 所示,在欧美和俄罗斯等东欧国家一般在 2 t 以下时采用这种单立柱型堆垛机。

(2) 双立柱型堆垛机

在机体结构上有两根立柱的堆垛机称为双立柱型堆垛机,如图 4.9 所示。在欧美和俄罗斯及东欧国家一般在 2 t 及 2 t 以上时采用双立柱型堆垛机,而日本、韩国采用单立柱不按起重量而定,不少厂商甚至 0.5 t 以下的也有采用双立柱结构。我国主要受日本影响,没有严格的产品型谱,同样起重量既有单立柱式也有双立柱式。

(3) 梯型立柱堆垛机

这种堆垛机立柱形如梯子,比较扁平,位于堆垛机司机室外侧,便于操作人员在司机室前后行走,不受立柱影响。这种堆垛机一般用于拣选式堆垛机或拣选取-堆垛混合型堆垛机中,如图 4.10 所示。

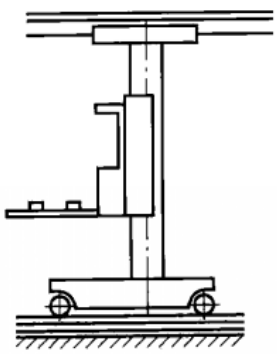


图 4.8 单立柱型堆垛机

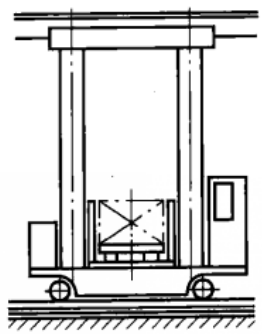


图 4.9 双立柱型堆垛机

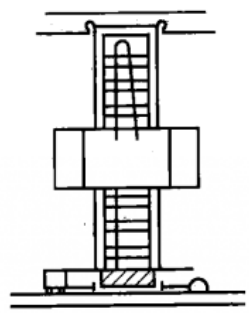


图 4.10 梯型立柱堆垛机

5. 按运行轨迹分类

(1) 直线运行型堆垛机

直线运行型堆垛机仅仅能在直线巷道内的轨道上行驶,不能自行转换巷道,是自动化立体仓库中最常见的一种型式。这种堆垛机的主动车轮、被动车轮装在堆垛机下横梁上,不能相对下横梁平面转动。

(2) 曲线运行型堆垛机

曲线运行型堆垛机是能在环形或曲线轨道上行驶并能自行转换巷道的堆垛机。这种堆

垛机的主动车轮组和被动车轮组通过垂直转轴与下横梁相连，能相对下横梁作平面转动，从而使车轮沿曲线轨道运行，如图 4.11 所示。

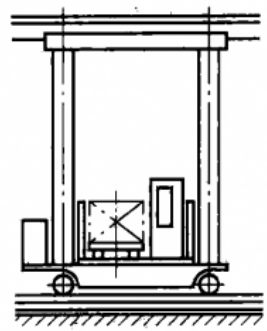


图 4.11 曲线运行型堆垛机

6. 按人员搭乘分类

(1) 带司机室型堆垛机

这种堆垛机的司机室安装在载货台上，随载货台一起升起。如果装卸的货物较高大，司机室一般直接固定在载货台上，如果装载的货物较小，为了降低最高一层货架高度，往往在司机和载货台之间安装导轨，可以相对移动。这种带司机室的堆垛机便于人员观察作业情况，一旦有误操作或发生故障能及时处理。

(2) 无司机室型堆垛机

这种堆垛机的载货台上不装司机室，而在堆垛机立柱下部控制柜后搭建操作平台，操作者可站在平台上随堆垛机运行操作控制箱。由于现代的控制器质量日益可靠，故障率低，因此不带司机室的堆垛机已成为自动化立体仓库堆垛机中的主流。

7. 按使用环境分类

(1) 常温型堆垛机

常温型堆垛机使用环境温度在 0～40℃，湿度在 45%～85%。

(2) 低温型堆垛机

低温型堆垛机使用环境 0℃以下，对堆垛机的金属材料冷脆性、电气元器件有特殊要求。

(3) 高温型堆垛机

高温型堆垛机使用环境在 40℃以上。

(4) 防爆型堆垛机

特殊物品在存储时有防爆要求，为了防止发生火灾和爆炸，对电动机、电气设备以及静电火花等方面有特殊要求。

(5) 其他特殊环境条件用的有轨巷道堆垛起重机

4.1.2 堆垛机的组成

堆垛机虽然有多种分类方法，结构形状存在差异，但其大体组成相同，主要由金属结构(也称为机架)、行走结构、起升机构、载货台、司机室、存取机构、安全保护装置及电气设备几大部分组成。

1. 金属结构

堆垛机的机架主要由立柱、上横梁、下横梁组成一个框架，整机结构高而窄。机架可以分为单立柱、双立柱、梯形立柱三种类型。双立柱结构的机架由两根立柱和上、下横梁组成一个长方形的框架，这种结构的强度和刚度比较好，适用于起重量较大和起升高度较高的场合。单立柱只有一根立柱和上、下横梁组成，整机重量较轻，结构紧凑，堆垛机运行时，司机的视野也较为开阔，但刚性相对稍差，一般仅用于起重量在 2 t 以下的场合。梯形立柱主要用于超高的大型堆垛机。堆垛机的机架沿天轨运行。为防止机架晃动，在上横梁上装有上

部导向轮夹住天轨。

2. 行走机构

堆垛机前后行走靠行走机构带动两个承重车轮沿轨道运动。行走机构按所在位置不同可以分为地面驱动式、顶部驱动式和中间驱动式等。其中，地面驱动式使用最为广泛。行走机构包括电动机减速机组、电动机减速组驱动的主动车轮组、被动车轮组以及前后两组防止堆垛机脱轨的水平导向轮。

3. 起升机构

在堆垛机中使载货台垂直运动的机构称为起升机构。常见的起升机构有两种形式。一种是钢丝绳牵动载货台上下运动，主要由电动机、制动器、减速机、卷筒、钢丝绳和滑轮组成。另一种是用链条牵引载货台上下运动，主要由电动机、制动器、减速机、链轮组和链条组成。

4. 载货台

载货台是货物单元的承载装置，一般由水平框架和垂直框架两部分组成。垂直框架安装起升滑轮或起升链轮，水平框架上安装货物存取机构及司机室。

5. 存取机构

存取机构是堆垛机用来取货或存货的装置。常见的是三级伸缩式货叉，它由前叉、中间叉、固定叉以及导向滚轮等组成。货叉传动方式主要有齿轮-齿轮和齿轮-链条两种。也有其他存取货物的形式，如牵载式取货装置等。

6. 司机室

司机室是载人式堆垛机装在载货台上供司机操作的小室。司机室分为固定在载货台上的司机室和司机室与载货台之间有上、下相对位移的两种。

7. 安全保护装置

堆垛机属起重设备，在高而窄的货架巷道内进行高速的往复运行，为了保证人身与设备的安全，堆垛机必须配备完善的安全保护装置。除了一般起重机常备的安全保护外，还要增加以下各种保护装置。

(1) 货叉与运行、起升机构的联锁

当货叉离开载货台上原始位置时，在堆垛机行走和高速升降时，货叉机构的控制电路必须切断，避免开动货叉电动机使货叉伸出造成事故。

(2) 入库时货物要虚实探测

堆垛机到达某货格进行入库作业时，在伸叉存入货物之前需要先探测货格内有无货物，以防双重入库，造成事故。探测器可以是反射式光电开关或机械式探杆，当探测货格内已有货物时，则停止送货，发出“双重入库”报警信号。

(3) 钢丝绳松绳和过载保护

起升机构的钢丝绳通过弹簧固定在横梁上，用行程开关检测弹簧的伸缩，松绳时弹簧变形量最小，过载时弹簧变形过大。两种情况下，均碰压行程开关发出报警信号，使堆垛机停止动作。也可用压力传感器和电子线路代替行程开关作负载限制器。

(4) 载货台断绳保护

钢丝绳发生断裂，载货台连同司机室会自由下落。此时，保护装置的安全挂钩和楔块动

作，迅速将载货台锁定在立柱导轨上。

（5）声光信号

堆垛机开动前，先用电铃或闪光灯发出信号，以警告机上或巷道内进行作业的检修人员及过往行人。

除上述几种主要的安全装置外，还要设置巷道端头强迫换速、起升机构超速下降保护的超越限制器，货台上货物不正报警等多种安全设施。

8. 电气设备

电气设备主要包括电力拖动、控制、检测和安全保护。在电力拖动方面目前国内多用交流变频调速，有时在起升上还用变极调速。对堆垛的控制一般采用可编程序控制器（PLC）或计算机等。堆垛机认址采用光电认址、编码认址等方式。

4.2 货叉伸缩机构

货叉伸缩机构是堆垛机存取货物的执行机构，如图 4.12 所示。装设于堆垛机载货台上，承载货物进行升降，并能向堆垛机两侧的货架里伸出货叉，以取出或放进货物。为减小巷道的宽度，且具有足够的伸缩行程，根据托盘的形状，单元货物的尺寸与重量等，通常采用的有二级或三级直线差动式伸缩货叉机构，传动方式采用齿轮齿条式或链条式，如图 4.13 所示。根据货架堆放货物及托盘的要求，有：叉车式货叉，利用货叉提升或下降，进行货物的存取；钩接式货叉，利用挂钩钩住专用集装盒的方式，搬运速度快，集装盒所占的上下空间小，可以存更多的集装盒；侧带式货叉，采用牢牢夹住物品存放，不必重新放置，也可以不考虑尺寸大小与搁板式货架组合而构筑自由定位尺寸。

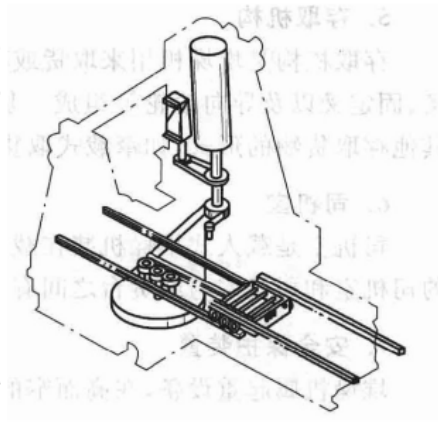


图 4.12 货叉伸缩机构的执行机构

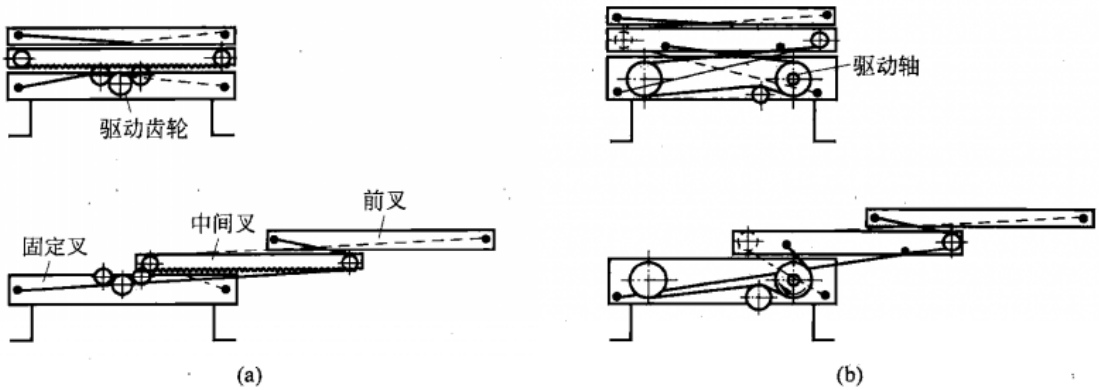


图 4.13 伸缩货叉送出机构

（a）齿轮齿条方式；（b）链传动方式

载货台分为有驾驶室及无驾驶室方式，沿着门架导轨如同升降机一同升降。为使升降平稳，装有导轮和侧轮。货叉作业时产生的力矩，由导轮通过升降导轨传递到门架；加、减速度时产生的水平惯性力则通过侧向轮传给升降导轨来承受。

关于载货台，根据堆垛机的安全规范规定，其安全装置除按堆垛机结构标准设计外，还必须具备下列条件：

① 应有两根以上的提升用钢丝绳或链条；

② 应有在提升用钢丝绳或链条断裂时，驾驶室在下降过程中自动制动的装置；

③ 提升用钢丝绳或链条的安全系数必须在 10 以上；

④ 为了防止驾驶室（或驾驶台）和载货台与下梁撞击，应设有防止下降过头的安全装置；

⑤ 当载货台上装有货叉时，构造上应保证，只有在货叉缩回时才能行走；

⑥ 对于驾驶台，应采用防止物体从上方落下而造成危害的措施。

1. 齿轮齿条式伸缩货叉

齿轮齿条式伸缩货叉，可采用两节或三节伸缩式货叉，图 4.14 示出的是三节伸缩式货叉，由前叉、中间叉、固定叉以及导向滚子等构成的货叉伸缩机构。

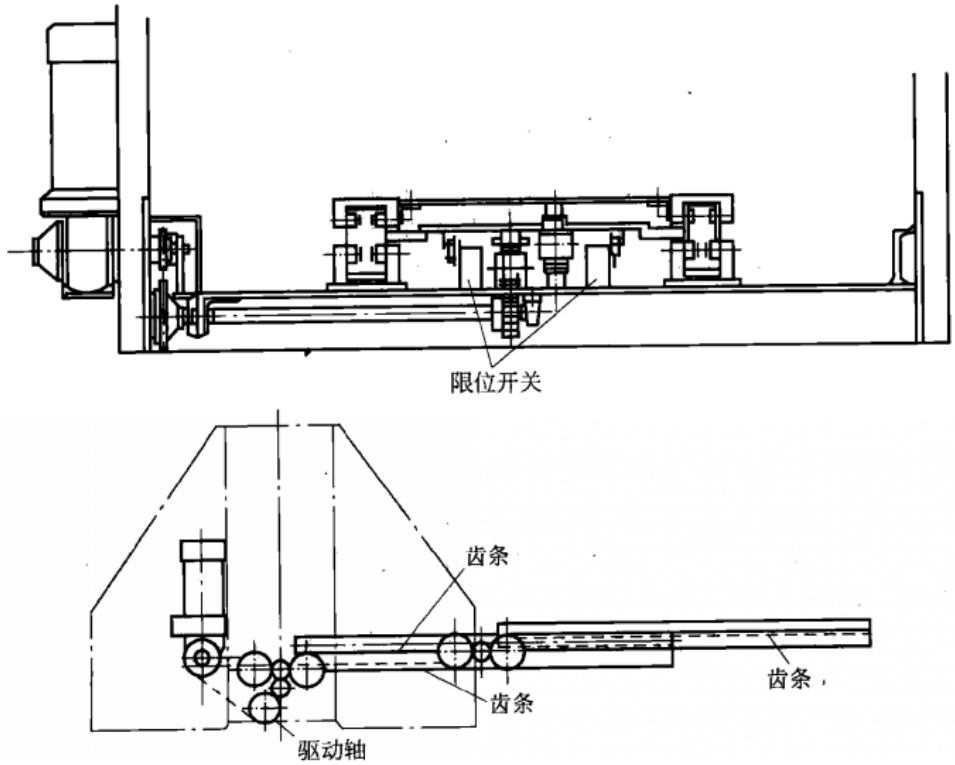


图 4.14 齿轮齿条式伸缩货叉机构

固定叉安装在载货台上，中间叉可在齿轮、齿条或链条、链轮的驱动下，从中间叉的中点，向左或向右移动大约自身长度的一半。前叉可从中间叉的中点向左或向右伸出比自身稍长的长度。前叉由两根滚子链或钢丝绳驱动，链条或钢丝绳的一端固定在固定叉（或货

台)上,另一端固定在前叉上。当取货装置将货物送入空货格时,由于货格开口较小,堆垛机向目的地停止时需有较高的定位精度。

2. 链条式伸缩货叉

链条式伸缩货叉如图 4.15 所示,由伸缩货叉(上、中)、固定货叉及导向轮等组成,固定货叉安装在货台上,固定货叉、伸缩货叉(中、上)之间由链轮链条进行连接。电动机减速机通过链轮 4 由链条 16 驱动链轮轴上的链轮 15,再由链轮轴上两个链轮 5 带动链条 12、链条 10、链条 11 驱动中伸缩货叉从固定货叉中点向左或向右伸缩,在中伸缩货叉向左或向右伸缩时,又带动上伸缩货叉以 2 倍的速度进行缩伸。

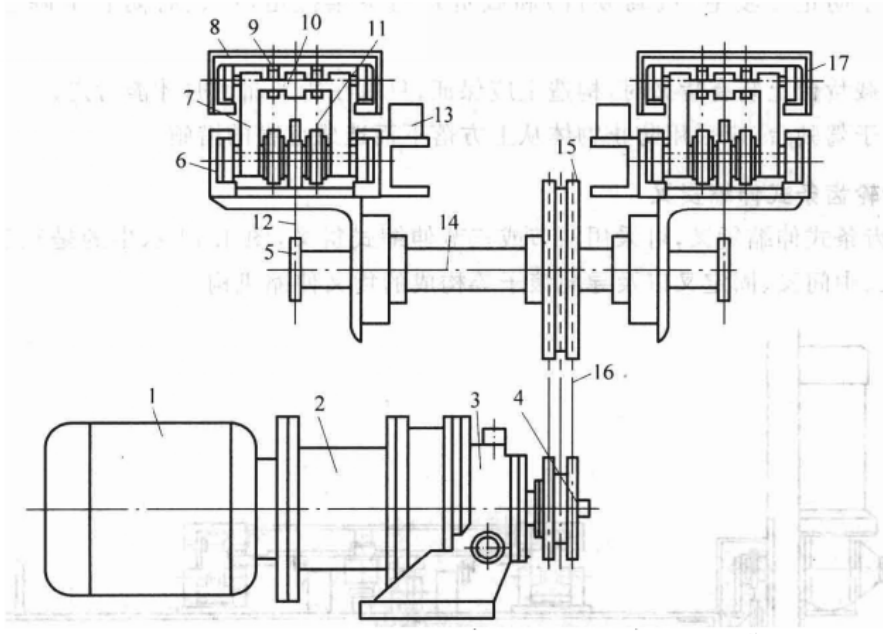


图 4.15 链条式伸缩货叉机构,

1—电动机;2—摩擦离合器;3—减速机;4、5、9、15—链轮;6—固定货叉;
7—中伸缩货叉;8—上伸缩货叉;10、11、12、16—链条;
13—行程开关;14—链轮轴;17—导向轮

电动机为锥型转子制动电动机,制动时应用锥型转子作为动力,不需附加任何电磁铁之类元件,结构紧凑,重量轻。在电动机出轴端装有超载离合器,以防止货叉伸缩时发生卡阻或遇障碍物而损坏货叉和电动机。

传动机构采用摆线针轮减速器和特制的滚针轴承导向轮,使货叉具有较薄的叉体及良好的刚性,因此承载能力强,变形小。

货叉行程通过行程开关或仿形装置控制。

为满足不同要求,货叉伸缩速度为可调,如在 16 m/min 时,采用 1 m/min 低速起制动,增加货物在运行过程中的平稳性。

堆垛机在走行方向(X 轴)上移动,货台在升降方向(Y 轴)上下移动,在货格前定位。但有的堆垛机使伸缩货叉的送出装置在载货台内部移动,进行位置的微调。这就是说,伸缩货叉装置在 X,Y 轴方向能够改变位置,由滚子支承在导轨内,由电动机-齿轮装置驱动。根据

设在地上的 X 轴定位认址片和设在堆垛机立柱上的 Y 轴定位认址片进行粗调。然后，设置在伸缩货叉送出装置上的光电开关，对准贴在货架的托盘支承梁上的光电反射标记，进行检测并作微调。微调范围最大在±50 mm 左右。

4.3 电气控制及认址系统

堆垛机的主要工作机构有起升、行走及货叉伸缩机构。因此，在设计控制部分时，根据堆垛机的作业状况，电气控制主要包括的部分有作业控制、认址系统、安全系统及通信功能等方面的工作。

1. 作业控制工艺

对于单纯的入库作业控制内容主要是从入库台取货后放入指定的货架货格内(入库作业工艺)，然后堆垛机可以停止在该位置或者返回到入库台所在位置。而单纯的出库作业控制内容主要是从指定的货格中将货取出运送到出库台上(出库作业工艺)。但是，在自动化立体仓库中还包含着许多综合性的工作内容，如：货物入库后，堆垛机又行至另一个位置取货，并将取出的货物运送到出库台上；或者在库房行走一段距离后，进行必要的盘库工作，此时需要进行库内周转作业，从指定的货格取货后，放到另一个指定的货格中，进行转货作业等内容。

(1) 入库作业

图 4.16 示出了一个完整的入库控制及系统设计流程工艺图，其中的所有内容都是在机械结构设计中存在的。

(2) 出库作业

根据出库作业的工艺内容，图 4.17～图 4.20 示出了一个完整的出库控制及系统设计流程工艺图。

(3) 库内转运作业

库内转运作业的目的为了将库内的货物进行重新归约整理，通常是将货物从库格中的一个指定位置，连同托盘搬送到另一个指定位置，堆垛机仅仅在巷道进行出入库作业，不需要到入库台和出库台。

2. 堆垛机的控制系统

(1) 驱动控制

通常，堆垛机的驱动系统电动机共有三个(如图 4.19 所示)，即水平行走电动机、垂直升降电动机和货叉伸缩电动机。目前，常见的驱动控制设计有以下两种方法。

方法 1：水平行走采用感应式交流电动机，调速采用变频调压(PWM)；垂直升降采用感应式交流双速电动机，调速采用变极调压，货叉伸缩采用感应式交流单速电动机或感应式交流双速电动机。可采用单速电动机无调速、双速电动机、变极调速、垂直与货叉驱动电动机正/反转，采用接触器变相位。其电气原理如图 4.18 所示。

方法 2：水平、垂直、货叉均采用感应式交流电动机；调速及正/反转均用变频调压。其电气原理如图 4.19 所示。

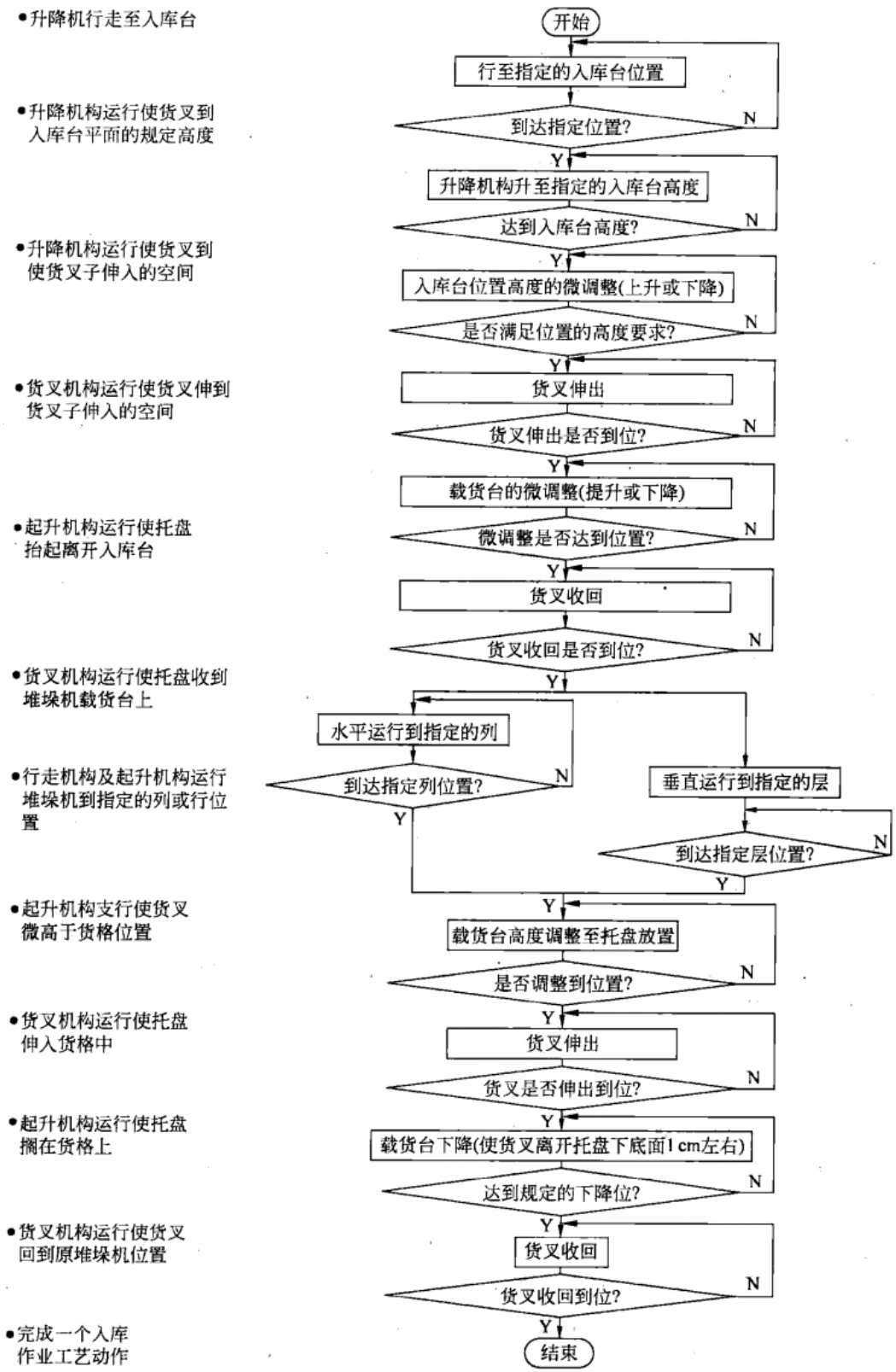


图 4.16 堆垛机入库作业工艺框图

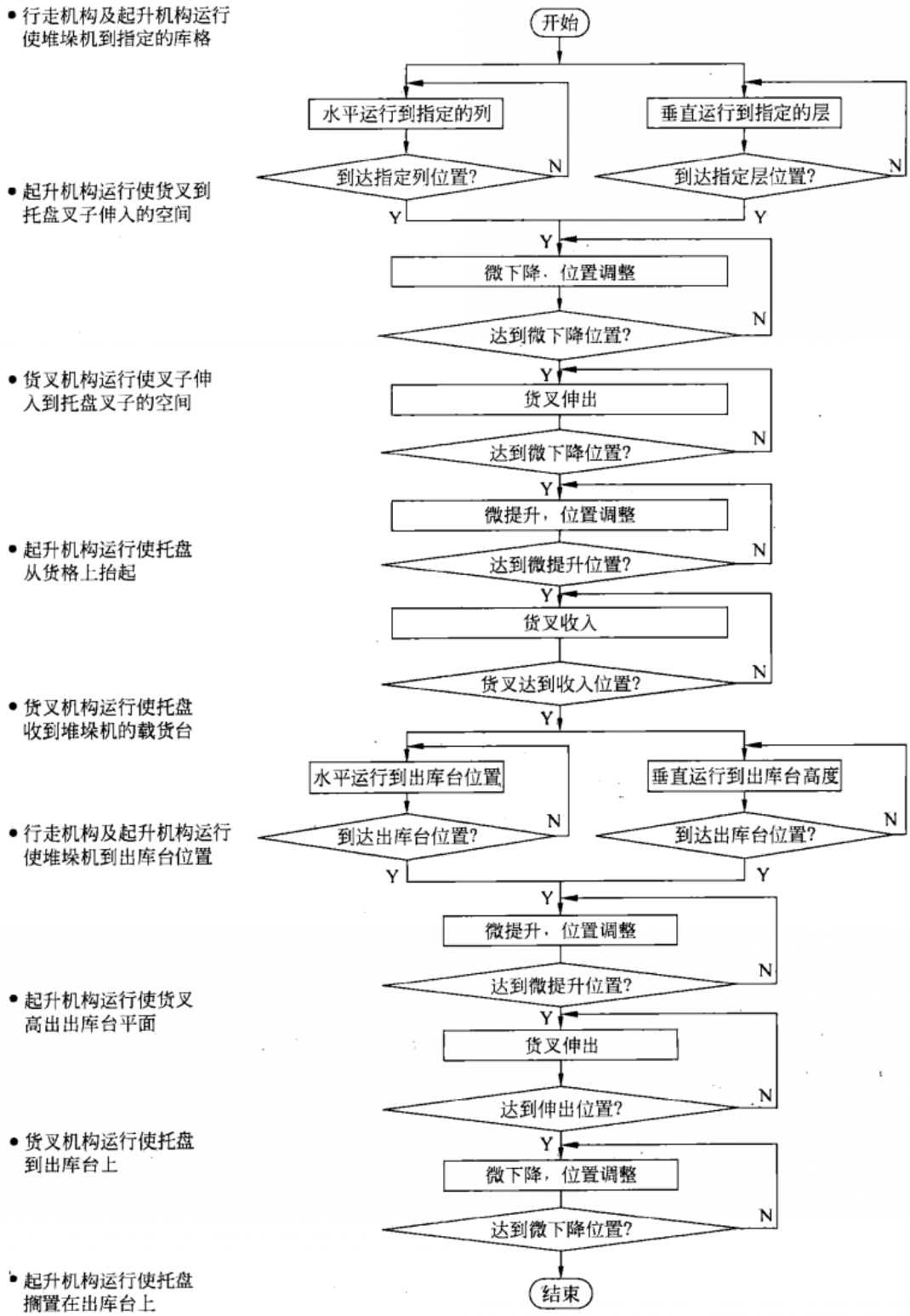


图 4.17 堆垛机出库作业工艺框图

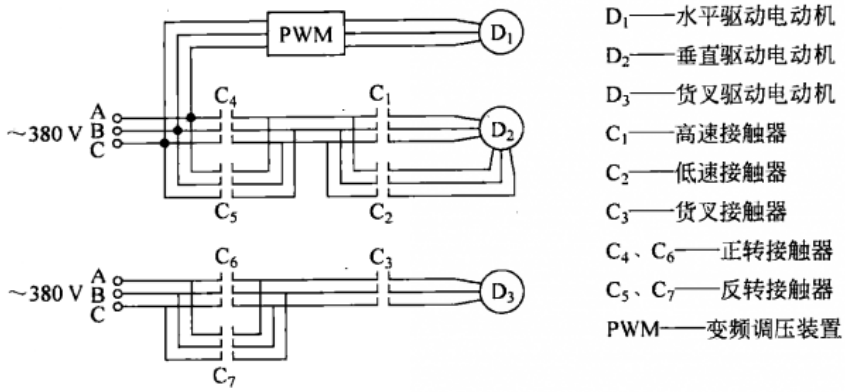


图 4.18 堆垛机出库作业工艺框图

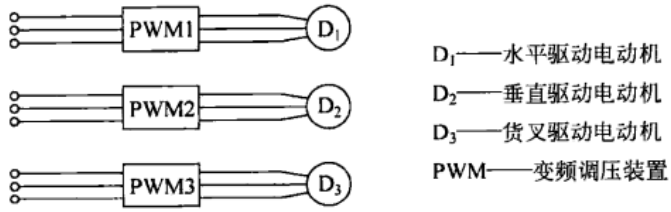


图 4.19 电动机变频控制图

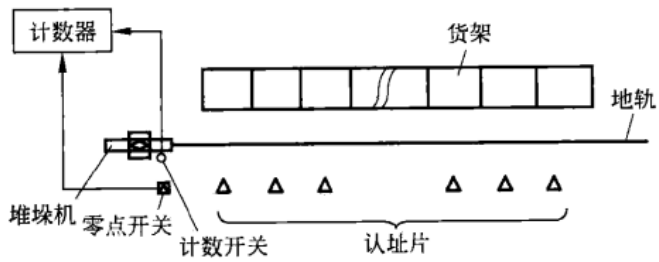


图 4.20 堆垛机出库作业工艺图

方法 1 和方法 2 控制系统都采用 PLC。

(2) 位置控制检测

作业中的微提升、微下降、货叉的左右伸出到位、货叉回中位到位，均采用光电开关或接近开关检测 PLC 控制。

(3) 操作面板

操作面板大多数安装在控制箱上，而控制箱又安装在堆垛机上，因此其随机走动。

操作面板上通常设有手动、单机自动、联机(或称全自动)转换开关；前进/后退、上升/下降、起动、取货/存货按钮、行/列拨动开关(或行/列加减计数按钮)，同时还有行/列数字显示器及急停开关。

前进/后退、上升/下降均在手动状态有效，供维护时使用；行/列拨动开关、起动按钮在单机自动状态有效，用于单机自动操作。

全自动状态控制器受控于中控机，面板开关除急停开关外均无效。

(4) 控制器

控制器是堆垛机控制系统的核心,包括 CPU、开关量输入输出模板、计数模板和通信模板。连接位置控制检测开关、操作面板开关、安全检测开关、认址开关以及连接驱动器组成堆垛机电气控制系统。其电气原理如图 4.21 所示。

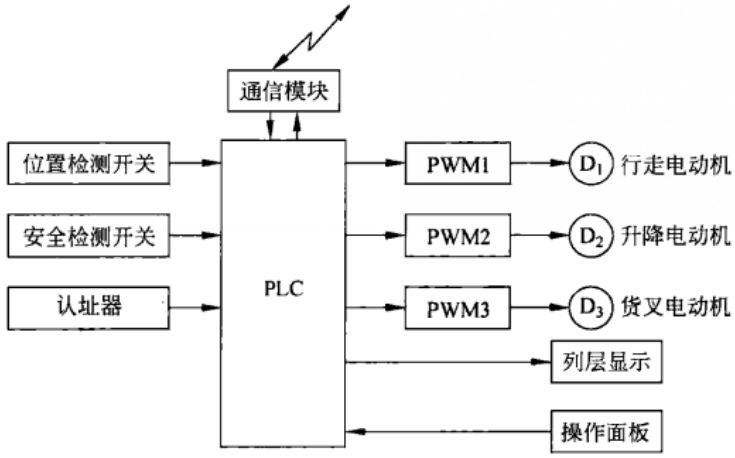


图 4.21 堆垛机控制器系统图

目前国内控制器基本采用 PLC,具体的配置按设计时的实际需要。PLC 的选型无严格的要求,大多数是根据设计人员熟悉的程度及用户的要求选择。PLC 在目前国内市场上的品牌很多,堆垛机控制常用的有三菱、OMRON 等品牌。

国外进口的堆垛机控制系统绝大多数是制造公司自行设计的,以单片机为核心的专用控制器。

堆垛机的电气控制系统根据以上要求进行硬件系统设计,同时还要了解 PLC 的产品情况及功能模板的功能及参数,以合适的配置完成控制要求。

(5) 控制软件

系统配置完毕后,按以上的控制工艺、操作、安全要求写控制软件程序。为了使软件的功能比较清晰、有利于产品化以及维修的方便,控制软件必须程式化,即通常所称的模块化。堆垛机的软件通常有作业模块、操作模块、检测模块、调度模块和通信模块。

PLC 的编程手段亦较方便,一般是在计算机上通过专用软件编写和调试后下载。

3. 认址控制

认址控制是指堆垛机的取存器机构——货叉如何找到要求取存货的位置。一座立体仓库小的有几百个货位,大的有几万个货位,因此认址控制是必不可少的。

认址控制从认址的方式上可分为绝对认址和相对认址;从控制器件上分为机械认址、光电认址以及激光认址。

1) 相对认址

相对认址是指货格几何坐标或控制系统所建立的操作间没有严格的硬连接,其坐标原点的建立是靠原点位置开关。原点位置开关控制系统所建立的操作坐标就发生相对的变动。

相对认址最常用的方法计数法,从第一个库格开始计数,以后每经过一个库格,堆垛机

前进时加 1，后退时减 1。其电气原理如图 4.22 所示。

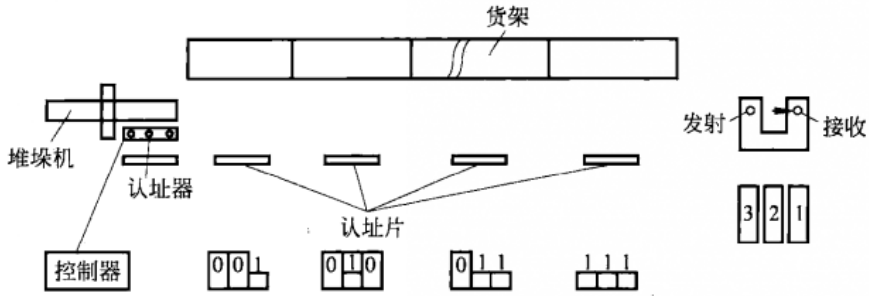


图 4.22 相对认址原理图

如以水平认址为例(亦称 X 方向)，其组成有计数开关、计数器、零点开关认址片组成。零点开关和认址片安装在地轨或地面上，计数开关安装在堆垛机上。计数器现在用 PLC 的计数模块解决。

垂直认址(亦称 Y 方向)，与水平认址基本相同。只是其址片安装在堆垛机的立柱上，计数开关安装在载货台上。

通过水平认址和垂直认址就建立了货叉几何位置与库格对应的关系。

通过以上阐述可以看到 X、Y 的计数器和库格的几何坐标无“硬”对应关系，因此称为相对认址。目前相对认址计数开关通常采用光电开关，也可采用接近开关。计数器通常采用 PLC 的计数通道，认址片为一般的铁片。

2) 绝对认址

绝对认址是由货格的几何坐标或控制系统所建立的操作坐标构成对应关系，且没有中间“软”连接，称作绝对认址。绝对认址可靠性比较高。

绝对认址方式随着控制技术及元器件的不断发展，得到越来越广泛的应用，常见的方法有数模读入法及激光测距法。

(1) 数模读入法

数模读入法的工作原理在此以水平行走的认址来说明。设计中如采用 3 只叉形对射式开关组成认址器。在巷道口时，认址片将三个光电开关的光全部挡住，认址器输出为“000”，当堆垛机开到第一列，认址器插入第一列认址片。第一列认址片做成图示形式，即第一只光电开关光通过，因此认址器输出为“001”。当堆垛机开到第二列，同理，认址器输出为“011”。以此类推，只要把认址片做成不同形状就可以改变认址器的输出码。

由于认址片安装在地轨或地面上，其代表实际货架列的位置，而认址器安装在堆垛机上，因此认址器输出的代码就直接反映货架的列数。

以上用三只光电开关，可以认 8 列，四只光电开关可以认 16 列，采用 n 只光电开关，可以认 2^n 列货架。认址器及器件组成有多种方式，应根据实际需要选用。

以上介绍的是二进制码，亦可采用其他码制，如格雷码。

垂直方向(行)的原理与水平行走原理相同，仅仅是认址片安装在立柱上，认址器安装在载货台上。通过行列的认址，货叉坐标和货格库格就形成了对应关系。

(2) 激光测距法

随着科学技术的发展，堆垛机运行速度越来越快，货架容量也越来越大，控制技术和器

件越来越先进。因此，现在大容量库使用的高速堆垛机的认址形式一般采用激光测距法。

激光测距的物理原理是光波测距的方式之一(图 4.23)。如果光速为 c，在 A、B 两点间传播，往返所需要时间为 t，则 A、B 之间的距离 $D=ct/2$。由于光速是定值，因此测量距离实际上只需测量光的传播时间即可。时间测量方法有脉冲法和相位法，按以上原理组成的仪器称激光测距仪。

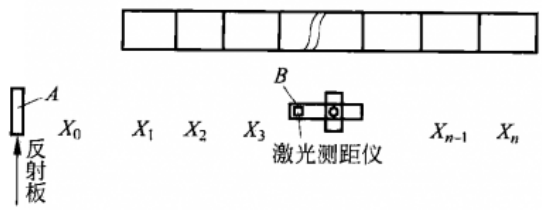


图 4.23 激光测距原理图

激光测距仪测量精度可达毫米级，能快速准确地显示距离。根据需要可选择 RS-232、Profibus 等多种数据接口，在保证 1 mm 重复精度的情况下，测距范围为 30 cm～300 m。

将激光测距仪安装在堆垛机上，反射板安装在地面并作为坐标点的原点标，即随时可读出堆垛机所在的位置坐标。

将货架的几何坐标输入计算机，随时可以计算出堆垛机处在货架的位置。同样把激光测距仪安装在载货台上，把反射板安装在立柱的顶部或底部，就能够随时读出载货台在 Y 方向的位置。把货架列的几何尺寸存入计算机，堆垛机在作业时就能够正确寻找到货架、库格的位置。

激光测量认址属于绝对认址，其体积小、速度快、对点正确，是一种先进的认址方式。

由于堆垛机是起重机械之一，具有铲车功能，并可在又高又窄的巷道中高速运行。所以，安全在堆垛机作业过程中是至关重要的，国家对各种设备都有安全规范。其保护装置及措施如下(图 4.24)。

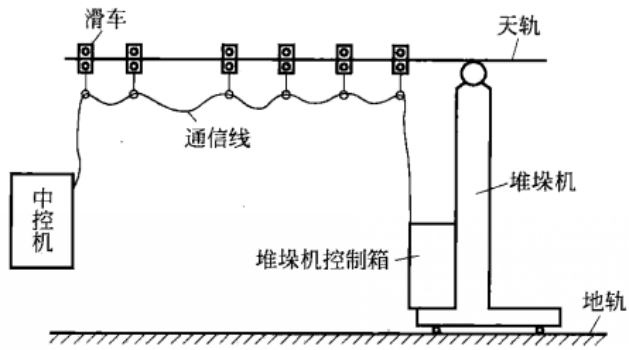


图 4.24 堆垛机拖线控制原理图

(1) 终端限位保护

在行走、升降及货叉伸缩的终端都设有限位保护。电气方面有强迫减速及强迫停车挡位，机械方面有机械挡块或楔头。

(2) 载货台断绳(链)保护

载货台是通过钢丝或链条悬挂起来，升降是通过钢绳或链条传动，并有导轨定向。断绳(链)保护装置是由一套机械装置组成，当钢绳或链条产生断裂时，为了避免载货台的坠落，用凸轮机构将载货台锁固在导轨，防止了事故的发生。对升降设备断绳(链)保护装置是规范所要求的。

(3) 超速保护

当行走、升降及货叉伸缩速度超过额定速度的15%时，要强迫停车。此项保护装置，对于高速堆垛机是必不可少的。

(4) 常规电气保护

常规电气保护主要是指断电保护、缺相保护、过流及过压保护、漏电保护和过载保护。

(5) 常规电气控制保护

常规电气控制保护包括：电动机正/反转连锁保护，即正转信号输出，反转信号不能输出；当堆垛机在行走、升降时，货叉不能有伸缩发生；当货叉伸缩时，行走、升降不能有信号输出；当联机时，所有操作面板信号均无效等。

(6) 作业安全保护

作业安全保护是指存货时，在堆垛机到达货格放货前要进行货格探空检测；当从货格取货时，要进行取货是否取到检测。如取空要发“取空”信号。

4. 通信控制

在全自动控制的立体仓库中，所有的设备都处在中控机的监控之下。因此，中控机与设备控制层之间要建立通信联系，彼此交换数据。由于堆垛机是高速运动、三维空间定位要求高的机电一体化设备，20世纪80年代的堆垛机与中控机之间的通信一般采用拖线连接，即通信线通过装在天轨上的滑车上，然后两头连接。随着科学技术的发展，这种方式现在已经基本不再采用。20世纪90年代初期，出现了无线通信方式，其在中控机与堆垛机控制器分别安装调制解调器，通过天线交换信息，如图4.25所示。

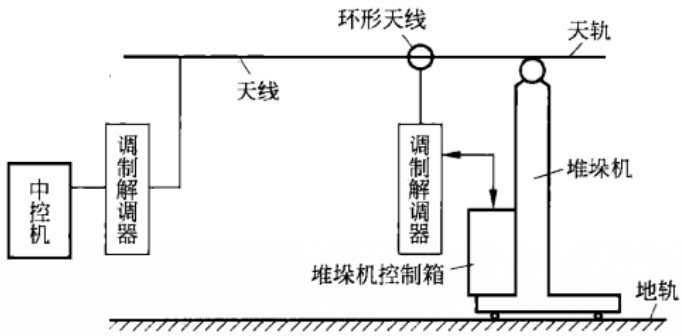


图4.25 堆垛机天线控制原理图

目前大多数堆垛机采用红外通信方式，即在地面安装红外发送及红外接收器。在堆垛机上对应也装一对红外发送及红外接收器。红外发送器把电信号转换成红外线光波信号，聚焦后发射。红外接收器收到红外光波信号后，再把其转换成电信号。因此，相互之间无通信介质。两对红外接发送器分别与中控机和堆垛机控制器连接，完成信号的传送，如图4.26所示。

红外接发送器根据巷道的长短选择，其小可到几十厘米，大可达一二百米。

红外通信器、中控一端采用RS-422与计算机串口相接。堆垛机控制器一端RS-422与PLC通信模块相连接。

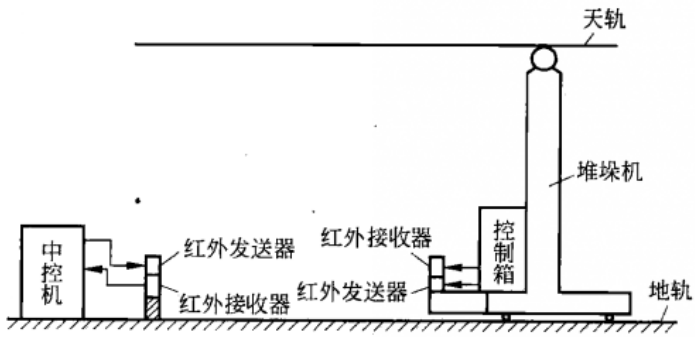


图 4.26 堆垛机红外线控制原理图

4.4 安全保护装置

巷道堆垛机的安全保护措施应根据堆垛机的控制方式和用户具体情况来确定。下面说明常用的安全措施。

1. 各机构终端限位保护

堆垛机上一般都应装设起升机构的上下限位开关、货叉左右终端的限位开关、运行机构前后终端的限位开关。当各机构接近极限位置时，相应位置的限位开关(一般采用行程开关)动作，电动机断电停车。这时，堆垛机不能再向同一方向起动电动机运行，只能向相反方向接通电动机。

2. 巷道两端限速保护

由于堆垛机的运行速度较高，停车制动后的滑行距离一般在 1 m 以上，所以除了终端限位停车外，还需提前一定距离设置强迫减速开关，以使堆垛机以较低速度逼近巷道终端。一旦碰到限位开关，便能立即停车，以避免堆垛机高速冲向极限位置，发生猛烈碰撞事故。

3. 货叉与运行、起升机构的联锁

当堆垛机运行或高速升降时，货叉机构的控制电路被切断，不能开动货叉电动机使货叉伸出；当货叉离开载货台上原始位置时，堆垛机的运行和高速升降电路被闭锁。以上联锁均用继电器接点互锁来实现。堆垛机在水平、垂直方向到位控制时，货叉才能伸出。特别在自动或半自动控制方式中，用条件控制，即以检测到确已停准位置，作为伸叉的必要条件。

4. 限制货叉在货格内微升降的行程

可用限位开关限制微升或微降超过行程，也可用限制微升降时间的办法，间接控制其升降行程，以防止货叉与货物或货架相撞，造成事故。

5. 入库时货格内虚实探测

自动堆垛机到某货格入库，在伸叉存入货物之前，需先探测货格内有无货物，以防双重入库，造成事故。探测器可以是反射式光电开关或机械式探杆。光电探测装置要求每个货格内装有反射片，造价较高，且不便维护。

如探测结果货格内已有货物，则停止送货，发出“双重入库”报警信号。

6. 钢丝绳松绳和过载保护

起升机构的钢丝绳通过弹簧固定在上横梁上，用行程开关检测弹簧的伸长，松绳时弹簧变形最小，过载时弹簧变形过大。两种情况下，均碰压行程开关发出报警信号，使堆垛机停止动作。也可用压力传感器和电子线路代替行程开关，作负荷限制器。

7. 货物位置和外形检测

堆垛机载货台上常装有货物位置、外形检测装置，防止货物突出载货台或货垛倒塌造成事故。货物位置、外形检测器一般有两种，一种是光电式，另一种是用金属丝带行程开关。

8. 紧急停车

司机室操作台上装有急停开关。紧急情况下，司机可按下此开关，立即切断主电源，制动停车。

9. 声光信号

堆垛机开动前先用电铃或闪光灯发出信号，以警告机上或巷道内的检修人员和过往的行人。

10. 载货台断绳保护

钢丝绳一旦断裂，载货台连同司机室就会自由下落，这时，保护装置的安全挂钩和楔块动作，迅速把载货台夹紧在立柱导轨上。

11. 超速、断绳保护装置

超速、断绳保护装置是超速保护和断绳保护两种装置的简称，以下分别介绍。

(1) 超速保护装置

超速保护装置是堆垛机的安全保护装置之一。当堆垛机的载货台升降时，由于某种原因(如钢丝绳或链条断裂，起升电动机或减速器断轴等)引起载货台超速下坠，当达到超速保护装置限定的速度时，超速保护装置能不依赖其他动力驱动机构和电气系统，迅速将载货台可靠地夹持在起升导轨上，达到防坠保护作用，如图 4.27 所示。

超速保护装置的工作原理为当载货台在升降过程中，因某种原因使载货台超速下坠时，通过钢丝绳 8 带动限速器超速运动，从而使限速器上的绳轮超速旋转。当超速达到预先设定的速度时，限速器的棘爪就会自动卡住棘轮 5，此时限速器绳轮 12 停止转动，同时自动使行程开关 4 切断电源。由于传动钢绳受平衡块 6 作用在张紧绳轮上，因此也停止运行，但此时载货台继续向下坠落，由于在载货台上制动夹紧装置通过连杆 1、2 与钢绳相连，钢绳不动就相当于钢绳对载货台的连杆作向上牵动作用，这就迫使制动夹紧装置的偏心轮 9 转动，从而使制动夹紧装置牢牢夹紧在起升导轨上。

(2) 断绳保护装置

断绳保护装置的作用与超速保护装置在功能方面是相近的，其结构如图 4.28 所示。主要原理是载货台上滑轮装置支座下装有螺杆和压缩弹簧 2，当起升钢丝绳受载货台和货物重量的作用力时，使压缩弹簧处于压缩状态，此时工况如图 4.28 所示。一旦当钢丝绳断裂，即滑轮装置失去载货台和货物的重力作用，同时压缩弹簧释放，使连杆机构 4 动作，把起升导轨两侧的楔板 7 向上运动(此时载货台向下坠落)，由于楔板的斜面作用使断绳保护装置夹紧在起升导轨上，以保证载货台在断绳时不致坠落。

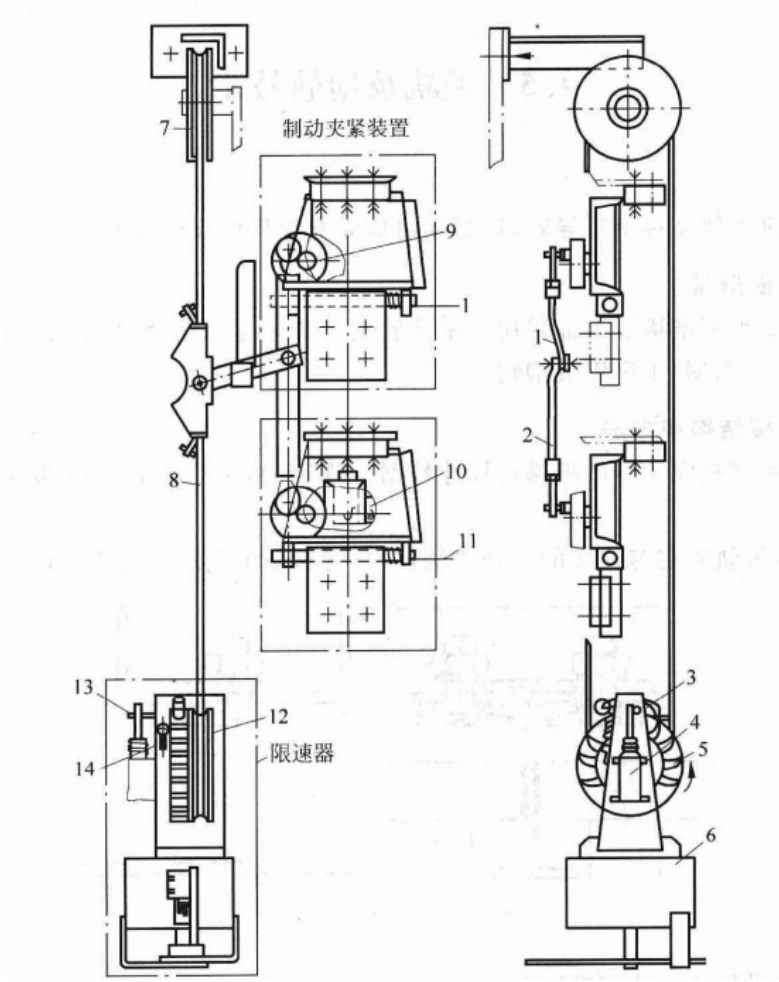


图 4.27 超速保护装置

1、2—连杆；3—棘爪超速保护装置；4—行程开关；5—棘轮；6—平衡块；7—滑轮；8—钢丝绳；9—偏心轮；10—制动块；11—调节螺栓；12—绳轮；13—撞尺；14—拉伸弹簧

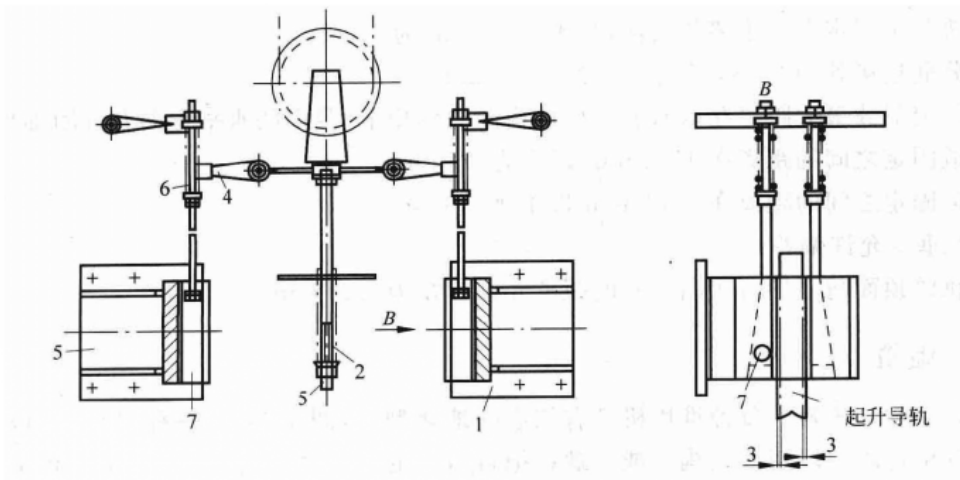


图 4.28 断绳保护装置

1—右安全夹；2、6—弹簧；3—螺杆；4—连杆机构；5—左安全夹；7—楔板

4.5 天轨及地轨技术

4.5.1 天轨

有轨堆垛机天轨又称上部导轨，这是相对地面支承型堆垛机而言。

1. 天轨截面形状

一般地面支承型堆垛机上部采用水平导轮夹住天轨运行。因此天轨呈扁平状为好，主要有三种型材，即角钢、工字钢或槽钢。

2. 固定连接结构和方法

天轨截面是在相应型号的堆垛机尺寸数据上规定的，生产厂商一般都推荐某规格型材供设计选择。

图 4.29 为天轨固定与连接的一种方法，并且能够调节到规定允许的偏差范围。

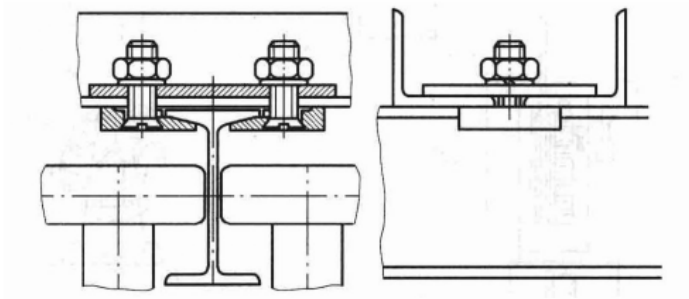


图 4.29 天轨固定方式

通常，上部导轨相对几何精度要求如下。

(1) 上部导轨截面中心线水平方向允许偏差

导轨长 100 m 以下为±3 mm；

导轨长大于 100 m 以下为±4 mm；

导轨两个固定点等距离长度段内(不小于 2 m)为±2 mm；

在截面连接处 200 mm 长度段内为±0.5 mm。

在额定荷载最大距离存取时所产生的横向力作用下，截面的水平方向允许附加偏差：

轨道固定之间的距离在 1500 mm 以下为±2 mm；

轨道固定之间的距离在 3000 mm 以上为±3 mm。

(2) 垂直允许偏差

下轨道顶面与上导轨底面之间的距离允许偏差为±10 mm。

4.5.2 地轨

地轨又称下导轨。每种堆垛机都有相应的地轨型号，图 4.30 是一种典型的地轨样式。图上基础板每隔一段用埋入构件或方螺钉把轨道固定在地面上。其距离根据轨道最大允许变形确定。把工字形短边焊在基础垫上，用螺栓和垫圈与轨道连接，利用安装一组垫板来调整达到必须的水平精度。一般在安装轨道的垫板之间先要对基础平面作特殊处理，比如用

预埋板调整。

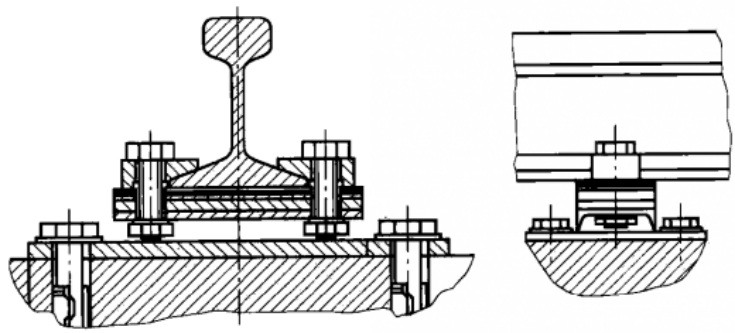


图 4.30 地轨固定方式

地轨几何精度要求如下。

(1) 地轨轴向允许水平偏差

轨道全长为±3 mm;

每 3 m(或堆垛机的轮距长范围内)为±1.5 mm;

钢轨对接处在 200 mm 距离内为±0.5 mm。

(2) 地轨垂直允许偏差

轨道长度在 100 m 以下为±2 mm;

轨道长度大于 100 m 为±3 mm;

在堆垛机轮距范围内(约 3 m)为±0.5 mm;

在钢轨对接处 100 mm 范围内为±0.1 mm。

钢轨的联接建议采用焊接方式,对接处对称焊接,然后用砂轮打磨焊接处,清理表面应符合规定,不允许磨成凹坑状。

近年来,随着堆垛机运行速度越来越高(有的已达 320 m/min),对地轨的外表精度要求也越来越高。因此,必须对地轨顶部和两侧进行精加工,采用磨削或冷拉成形。

5 工业搬运车辆

5.1 概　　述

装卸搬运是在货物运输、储存等过程中伴随发生的作业，贯穿于物流作业过程的始末。装卸搬运机械是指用来搬移、升降、装卸和短距离输送物料或货物的机械。装卸搬运机械不仅用于完成船舶与车辆货物的装卸，而且用于库场、货栈、舱内、车厢内完成货物的堆码、拆垛和短距离运输等作业。常用的装卸搬运机械有叉车、单斗车、牵引车、平板车、工业搬运车辆等。

1. 装卸搬运机械的作用

装卸搬运机械是装卸搬运作业的重要技术设备，是实现装卸搬运作业机械化的基础。大力推广和应用装卸搬运机械，并进行科学化管理，对于加快现代化物流的发展有着十分重要的作用，体现在以下几方面：

① 提高装卸效率，节约劳动力，改善劳动条件，减轻装卸工人的劳动强度。

② 缩短作业时间，加速车辆周转，加快货物的送达和发出。

③ 提高装卸质量，保证货物的完整和运输安全。特别是长大笨重货物的装卸，依靠人力根本无法完成，且不能保证装卸质量，容易发生货物损坏，危及行车安全。采用机械作业则可避免这种情况发生。

④ 降低装卸搬运作业成本。装卸搬运机械的应用，势必会提高装卸搬运作业效率，而效率提高使每吨货物摊到的作业费用相应减少，从而降低了作业成本。

⑤ 充分利用货位，加速货位周转，减少货物堆码的场地面积。采用机械作业，堆码高度大，装卸搬运速度快，可以及时腾空货位，因此可以提高场地面积利用率。

为适应货物装卸搬运作业要求，装卸搬运机械将向多样化、专用化方向加快发展。为了科学地使用好、管理好装卸搬运机械，应采取以下措施：

① 全面规划，合理布局，按需配置装卸搬运机械设备。

② 建立一套行之有效的运用、维修和管理制度，并通过采用新技术、新材料、新设备，逐步实现装卸搬运机械的系列化、标准化、通用化。

③ 建立装卸搬运技术专业队伍，配备必要的维修力量。

④ 积极发展集装化，增大装卸搬运机械作业范围，提高机械化作业比重。

⑤ 做好各种装卸搬运机械的配套工作，实现一机多能。

2. 装卸搬运机械的特点

装卸搬运作业要求装卸搬运机械结构简单，作业稳定，造价低廉，易于维修，操作灵活方便，生产率高，安全可靠，能最大限度地发挥其工作能力。

装卸搬运机械的技术性能对整个物流的作业效率影响很大，其主要工作特点如下：

(1) 适应性强

由于装卸搬运作业受货物品类、作业时间、作业环境等影响较大，装卸搬运活动各具特点，因而，要求装卸搬运机械具有较强的适应性，能在各种环境下正常工作。

(2) 工作能力强

装卸搬运机械起重能力大，起重量范围大，生产作业效率高，具有很强的装卸搬运作业能力。

(3) 机动性较差

大部分装卸搬运机械都在设施内完成装卸搬运任务，只有个别装卸搬运机械可在设施外作业。

3. 装卸搬运机械分类

由于装卸搬运机械的作业对象(即货物)种类繁多，来源广，外形和特点各不相同，如箱装货物、袋装货物、桶装货物、散货、易燃易爆及剧毒品等，因而产生了各种不同种类的装卸搬运机械。为了使用和管理方便，常按以下方法进行分类。

1) 按主要用途或结构特征进行分类

按装卸搬运机械的主要用途或结构特征不同，可将其分为起重机械、连续输送机械、装卸搬运车辆、专用装卸搬运机械等。其中，专用装卸搬运机械是指带有专用取物装置的装卸搬运机械，如托盘专用装卸搬运机械、集装箱专用装卸搬运机械、船舶专用装卸搬运机械、分拣专用机械等。

2) 按作业性质进行分类

按作业性质不同，可将装卸搬运机械分为装卸机械、搬运机械及装卸搬运机械三大类。有些装卸搬运机械功能比较单一，只满足装卸或搬运一个功能。单一作业功能的机械结构简单，专业化作业能力较强，作业效率高，作业成本低，但应用范围受到很大局限。加之由于其功能单一，作业前后需要繁琐衔接，会降低整个系统的效率。单一装卸功能的机械有手动葫芦、固定式起重机等；单一搬运功能机械主要有各种工业搬运车辆、带式输送机等。装卸、搬运两种功能兼有的机械可将两种作业操作合二为一，有较好的效果。这类机械主要有叉车、跨运车、龙门起重机、气力装卸输送机械等。

3) 按装卸搬运货物的种类进行分类

按照装卸搬运机械所能搬运货物种类的不同，可将其分为如下四种类型。

(1) 长大笨重货物的装卸搬运机械

长大笨重货物在质量、体积和形状方面差别较大。常见的长大笨重货物有大型机电设备、各种钢材、大型钢梁、原木、混凝土构件等。通常采用起重机械进行作业，主要有轨道式起重机和自行式起重机两种类型。轨道式起重机主要有龙门式起重机和桥式起重机。若长、大、笨重货物和集装箱的运量较大，且货流量稳定的货场，可配置轨道式起重机，其优点是作业效率高，占地少，驾驶员视野好。缺点是需要固定的地面轨道或高架轨道。自行式起

重机主要有汽车起重机、轮胎起重机和履带起重机等类型。在运量不大或作业地点经常变化的场合，一般配备自行式起重机。自行式起重机的最大优点是机动性好，作业场地可以快速变化，非常适合于在港口、车站等货场内对轮船、火车、汽车等运载工具进行长大笨重货物的装卸作业。

(2) 散装货物的装卸搬运机械

散装货物通常是指成堆搬运不计件的货物，如煤、焦炭、沙子、白灰、矿石等。散堆货物在交通运输货运量中占60%以上，因此，对该类货物装卸机械的选择是一项很重要的工作。一般来讲，装卸这类货物应多考虑选择装载机、抓斗起重机、链斗式装车机等进行机械装车；机械卸车主要用链斗式卸车机、螺旋式卸车机和抓斗起重机等。散装货物的搬运主要用连续作用输送机。

(3) 成件包装货物的装卸搬运机械

成件包装货物一般是指怕湿、怕晒、需要在仓库内存放并且多用棚车装运的货物，如日用百货、五金器材等。这种货物包装方式很多，主要有箱装、筐装、桶装、袋装、捆装等。该类货物一般采用叉车，并配以托盘进行装卸搬运作业，也可使用带式输送机等机械进行成件包装货物的搬运。

(4) 集装货物装卸搬运机械

集装货物是指采用集装器具，将货物集中起来的一种方式。常见的集装器具主要有托盘和集装箱。托盘和小吨位的集装箱货物一般采用相应吨位的叉车进行装卸搬运；大吨位的集装箱一般采用龙门起重机或旋转起重机进行装卸作业，也可采用叉车、集装箱跨运车、集装箱牵引车、集装箱搬运车等进行装卸作业。

下面介绍几种常用的工业搬运车辆。

5.2 叉　车

叉车也叫堆垛叉车，是物流仓储设备中用途十分广泛的搬运和装卸设备，也是集装化搬运不可缺少的设备之一。堆垛叉车与堆垛机相比，具有造价低、机动灵活性和适应性强、物品拣选便利、操作容易、易于维护保养等优点。在物流配送的立体仓库应用中，从平面堆放到高层堆垛均可使用，特别是起升高度在5～8 m的库房中得到广泛应用；对于仓储过程中的搬运、装卸、堆垛等作业，可以大大降低劳动强度，改善工作条件，提高工作效率，减少货物损坏，降低成本和保证作业安全。

随着仓储系统的现代化、生产过程自动化，缩短搬运、装卸作业的辅助时间，提高工效，提高库房的利用率，堆垛叉车得到了广泛的应用，并且得到迅速发展。

堆垛叉车的种类繁多。按动力可分为手动式、人力-电动式、电动式与内燃机式；按堆垛结构形式可以分为平衡重式、铰接式、侧向式、前移式、插腿式、门架旋转三向式、货叉旋转三向式、货叉伸缩三向式以及堆垛-拣选组合式等；按驾驶室位置可以分为下驾驶室、同步上升式驾驶室；按驾驶方式可以分为步行式、座式、站立式及无人驾驶式；按门架结构形式可以分为两级、三级起升门架；按货叉的结构形式可分为固定式货叉、旋转式货叉、伸缩式货叉及叉架伸缩式货叉；按支腿形式可以分为伸缩腿式、张闭腿式及固定腿式；按轮胎的形式可以分为实心轮、充气式轮及半充气式轮；按支撑方式可以分为三轮与四轮式；按驱动方式可以分

为前轮驱动与后轮驱动等。

一般重量在1.5 t以下时，水平搬运与低货位码垛等采用手动搬运叉车。手动搬运叉车的起升高度一般为110～1500 mm。这类叉车主要以搬运为主，只需把托盘上的货物叉起，脱离地面便可运行。手动堆垛叉车如图5.1所示，主要用于低层堆垛、码垛及车辆装卸等作业。按照我国常用的车辆的标准，5 t以上叉车的后车槽底板距地面高度一般为1320 mm；小型车辆及进口车的底板离地高度较小。电动步行式堆垛叉车如图5.2所示，因为多在室内作业，通常多用于1～2 t的货物进行码垛、上架和卸货，高度控制在1500 mm。超过两吨的货物使用大型堆垛叉车，这类叉车的结构形式大多采用固定插腿式，作业范围较广，效率较高，操作、维修简单。



图5.1 手动式堆垛叉车



图5.2 电动步行式搬运叉车

当起升高度及起重量较大时，采用动力式堆垛叉车。这类叉车根据使用场合的不同，有伸缩腿式、张闭腿式、插入式、前移式、三向式堆垛及堆垛与拣选组合式等。其结构简单、制造方便、操作容易、使用灵活、回转半径小、维修保养方便、动力费用低。特别是以蓄电池为动力的具有噪声低及环境污染小等优点，近年来已经在仓储库房中得到广泛应用。由于伸缩腿式、张闭腿式叉车应用范围较少，这里就不作介绍，其他形式的叉车一般均采用固定支腿式，在实际应用中主要采用插入式和跨入式。

(1) 插入式

支腿上安装有较小的车轮，支腿的高度也低，使支腿能够直接插入在托盘底下，腿间距较窄，要求托盘底部空间较高。由于起升货物的重心位于前后轮所包络的底面积范围之内，因此可以减少配重，稳定性也较好。但是，由于前支腿与前轮的减小，因此承载能力也相对降低，通常仅适应于2 t以下及堆垛高度较低的货物搬运与堆垛，如图5.3所示。

(2) 跨入式

由于支腿跨在托盘两边，使得支腿间距较宽，货叉可以降低到地面，因此托盘底部空间可以较低，如图5.4所示。

(3) 前移式

前移式分为门架前移与货叉前移。由于货叉前移的承载能力的刚度较低，通常使用的是门架前移式，门架沿支腿上的导轨向前推出和缩回，如图5.5所示。

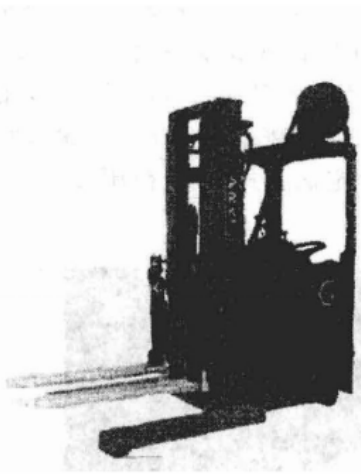


图 5.3 插入式叉车

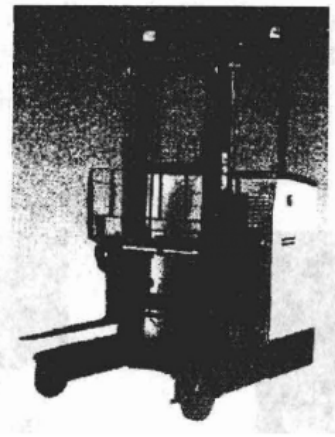


图 5.4 跨入式叉车

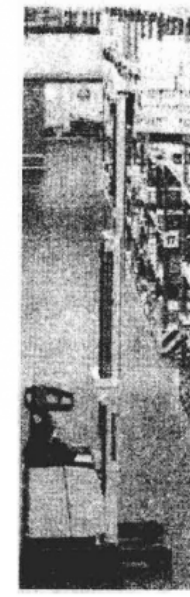


图 5.5 前移式叉车

(4) 三向式

三向式叉车分为门架旋转、货叉旋转与货叉伸缩，集堆垛、拣选于一体的堆垛叉车，如图 5.6 中所示，司机室随货叉一起起降，为了保证车辆的稳定性，其自重比较大，对托盘的适应性强。这类堆垛叉车的特点是车仅可以沿着巷道内进行前后行走，货叉或货叉随门架进行横运动及旋转 180°。特别是堆垛的货物入货架时，车可以原地不动，驾驶员随同需要出入货架的货物一同升降，保证货物在货格内放置的准确性，对装卸长大件非常便利。图 5.7 为堆垛-拣选组合式高货位三向叉车，由图可以看出，当货叉将货物送到位置后，货叉

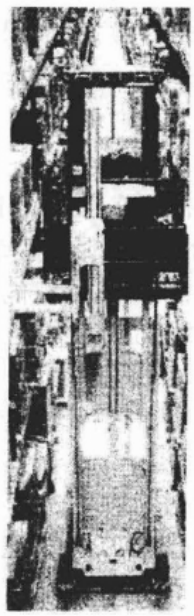


图 5.6 三向式叉车

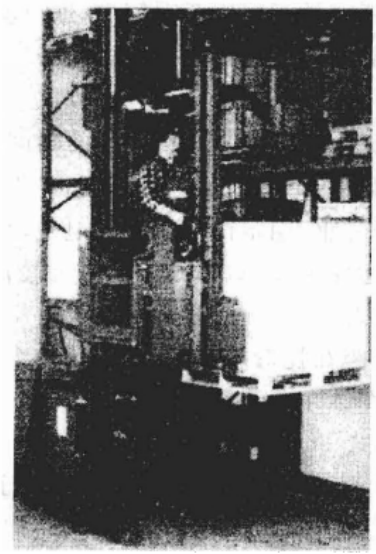


图 5.7 堆垛-拣选组合式高货位三向叉车

前部可以带有拣选货物的货箱，便于在立体库房中进行小批量货物的拣选作业。目前，在我国生产的专门用于立体使用的三向叉车的企业较少，大部分依靠进口。但是，由于进口的三向堆垛叉车的价格昂贵，维修与保养、配件等原因，能够应用的企业较少。此外，我国在劳动力方面价格低廉，拣选-堆垛三向叉车使用得更为稀少，大部分立体仓库使用的是三向叉车与专门用于拣选货物的拣选车。图 5.8 所示为西安昆仑仓储设备有限公司生产的 KKGC—1000 型货叉回转三向式堆垛叉车。货叉或门架可以沿中线向左右各回转 90°，并可侧移的堆垛叉车机。图 5.9 为门架回转三向式堆垛叉车，最大起重量可以达到 1 t。为了保证安全，通常堆垛叉车均采用实心轮。门架旋转与货叉旋转相比较，门架旋转的驾驶员位置大部分为正面，由于门架旋转，因此工作中的视野良好，但是门架旋转的惯性力矩较大，并且具有一定的重量，所以一般起重量在 1 t 左右，高度在 6 m 以下。货叉旋转式由于克服了门架旋转式的缺陷，最大起升高度可以达到 14 m，驾驶员常采用侧向式，高度定位依靠电子系统帮助解决。图 5.10 为专门用于立体仓库的高货位货物拣选用的拣选车，驾驶员随同拣选货箱一同升降，到达位置后进行各种货物的小批量拣选。

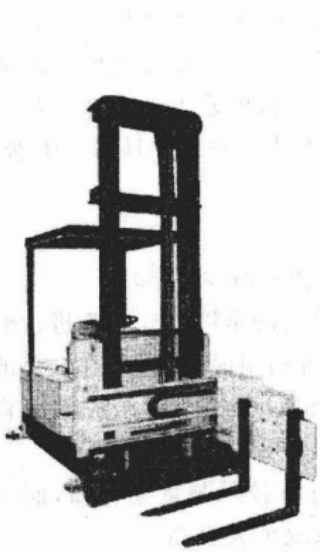


图 5.8 货叉回转三向式堆垛叉车

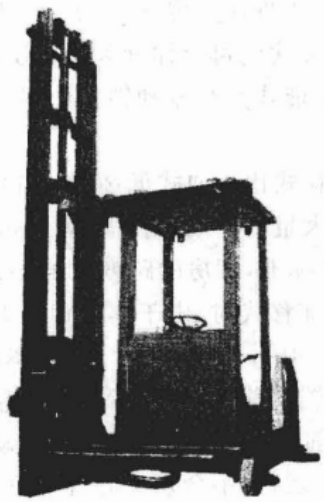


图 5.9 门架回转三向式堆垛叉车

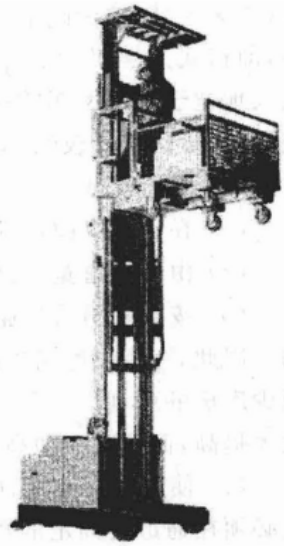


图 5.10 高货位拣选叉车

(5) 两面式叉车与侧向式叉车

两面式叉车与侧向式叉车可以从侧向叉取货物，主要用于长大件货物的作业。两面式叉车如图 5.11 所示，当装卸货物达到一定的高度后，门架旋转 90°，将货物放置在车体侧面的载货台上，非常有利于长件货物的堆垛与运输。侧面式叉车如图 5.12 所示，在货叉两端有载货平台，为的是当长大件货物在出入库运输时，避免由于地面不平产生振动，造成货物的变形，货叉与门架能够沿着轨道移动，将货物送入或取出货架，通常此类货物使用悬臂式货架。

随着物流业的发展，在各种商务中心、大型仓储式超市及仓库中，由于对库内环境、空气质量及地面的要求，电动前移式与三向式堆垛叉车的应用最为广泛。以下将这两类堆垛叉车在实际应用中的特点进行比较说明。前移式与三向式叉车均属近年发展起来的库房专用起重设备，区别在于：前移式在货物入位时，车体必须回转就位，然后将起重货物门架前移，

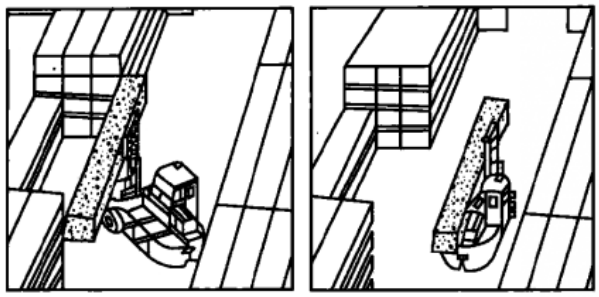


图 5.11 两面式叉车

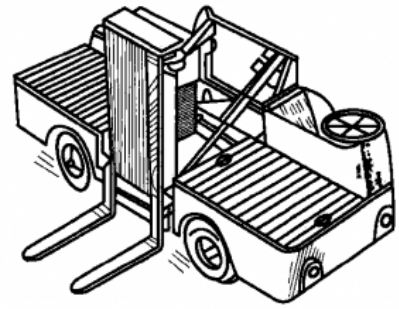


图 5.12 侧面式叉车

将货物送到指定位置，使用巷道的宽度一般在 3 m 以上；而三向式在货物入位时，车体不用回转，而货叉回转，即可将货物送到指定位置，巷道宽度仅在 1.5 m 左右。在实际应用中，前移式主要应用在仓储式超级市场，而三向式用于专用库房。其原因是，在仓储式超级市场中，要求通道较宽，顾客流量大，为了保证满足顾客的流通及购物后的运输要求以及发生事故（如火灾）时便于疏散。前移式相对较为便宜，所以在这类地方得到广泛使用。在技术方面，前移式为早期产品，三向式为近代发展起来的。在专用库房中，由于前移式使用的通道大大地宽于三向叉车的通道，库房的可存储面积被大大降低。特别是近年来的经济高速发展，土地价格增长较快，如果不能作为高盈利销售使用，在库房中使用前移式是非常浪费的。两种叉车比较如下：

（1）在价格方面，一般前移式比三向式低 20%～30%。

（2）由于通道宽，减少了大量的货架及托盘，因此可存储面积被减少了 30%。

（3）按照我国的工业建筑标准，库房的跨度在 12～21 m，采用的是以 3 m 为跨进行变化的。因此，在专用库房中使用前移式时，由于巷道宽度大，库房可利用面积大打折扣，一般要减少库房的可利用面积 30%～40%，库房越大，利用率越低。相对建筑及使用成本而言被大大提高，而且大大地高于购置前移式叉车、货架及托盘的费用。

（4）使用安全方面，由于前移式没有固定的轨道，动载运行时较易与货架相撞，而三向式必须在通道内固定的轨道上运行，不会发生此类现象，安全状况大大提高。

综上所述，在专用库房中，采用前移式时仅仅是在追求眼前节约资金方面的小利益，这样的方式实际仅仅是节省了叉车的价格差，浪费的是大量库房可利用面积及减少货位，不可能满足企业发展的长远利益，所以在专用库房中使用三向叉车更为有利。

在堆垛叉车的参数中，主要包括额定起重量、载荷中心距、最大起升高度、最大起升速度、最大行走速度、车体最大高度、巷道宽度、导向轮及导轨宽度、最少转弯半径及自重等。此外，为使结构轻便、简单和便于运行、通过仓库，通常采用单级、双级与三级门架。起升高度系列参照国际上的通用标准。

5.3 牵 引 车

牵引车是指具有牵引装置，专门用于牵引载货挂车进行水平搬运的车辆。牵引车没有取物装置和载货平台，不能装卸货物，也不能单独搬运货物。

牵引车根据动力大小可分为普通牵引车和集装箱牵引车。普通牵引车可以拖挂平板

车，用于装卸区内的水平搬运；集装箱牵引车用于拖挂集装箱挂车，用于长距离搬运集装箱。当平板车或集装箱挂车被拖到指定的地点装卸货物后，牵引车就会拖开这些挂车与其他的挂车结合。

根据所提供的动力不同，牵引车可分为内燃牵引车和电动牵引车；根据驾驶方式可以分为有人驾驶和无人驾驶牵引车。图 5.13 为日本尼桑汽车公司在亚洲的中心仓库中使用的无人驾驶的牵引车，其控制方式与 AGV 搬运车采用同一个系统，区别是仅仅作为牵引，而不载货。

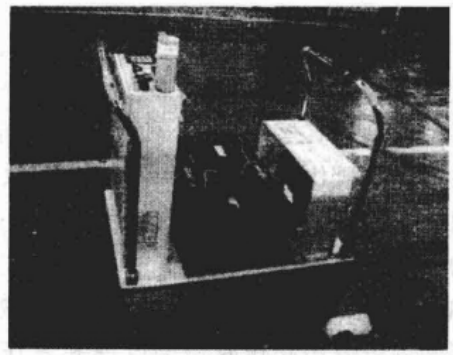


图 5.13 AGV 式无人驾驶牵引车

内燃牵引车一般采用经济性良好的柴油机进行驱动，只有小型牵引车才采用汽油机进行驱动。内燃牵引车的底盘结构形式与普通汽车类似，主要用于室外的牵引作业；电动牵引车采用蓄电池和直流电动机进行驱动，主要用于室内的牵引作业，图 5.14 为日本尼桑汽车公司在亚洲的中心仓库中使用的有人驾驶的牵引车。部分内燃牵引车和电动牵引车的主要性能参数在表 5.1 中示出。



图 5.14 有人驾驶牵引车

表 5.1 部分牵引车的主要性能参数

项 目	单位	参 数		
额定承载量	kg	1200	2000	3000
载货平台面积	mm×mm	2000×1000	2179×1250	2179×1250
载货平台高度	mm	760	780	800
最小转弯半径	mm	2830	3200	3200
最大牵引力(5 min 空载/满载)	N	2100/1900	4000/3600	3800/3200
运行速度(空载/满载)	km/h	15/10	17/14	18/13
爬坡度(空载/满载)	%	16/18	21.8/10.5	20/9
蓄电池电压	V	24	80	80
蓄电池容量	Ah	420	280	280
运行电动机功率	kW	3	6.5	6.5
车辆质量	kg	1230	1890	1940

5.4 真空吸盘机

装卸不带托盘的集装单元货物时，也可以采用真空吸盘式的搬运机构。在采用此种装置时，装卸车应带有相应的抽气装置——真空泵。图 5.15 为一种典型的真空吸盘机。图 5.16 所示为两种典型的胶囊真空吸盘式机构，其中图(a)适用于吸取表面为板状的货物，如图 5.17 所示，图 5.16(b)适用于吸取表面为圆弧形的桶状货物。这种机构的最大起重量可达 5 t，其主要组成部分是：形如小室的吸附装置，附在集装单元货物的表面，吸附装置的底部四周装有用硬橡胶做的胶囊和装在装卸车上的真空泵，真空泵的作用是把胶囊与货物表面形成的气室内的空气抽出，使吸盘紧紧地吸附住货物。

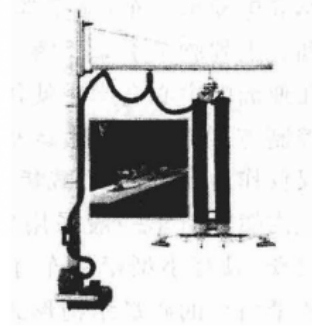
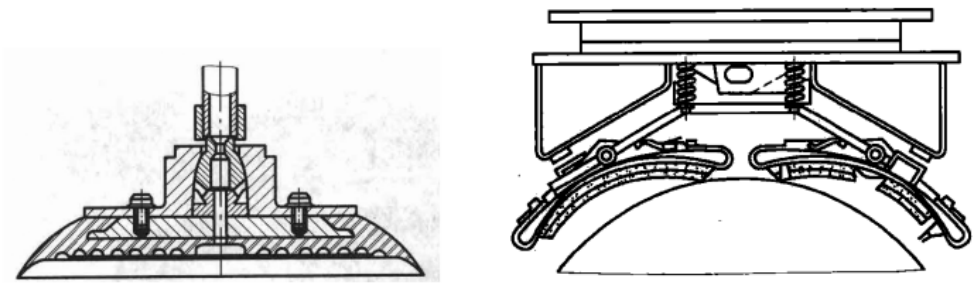


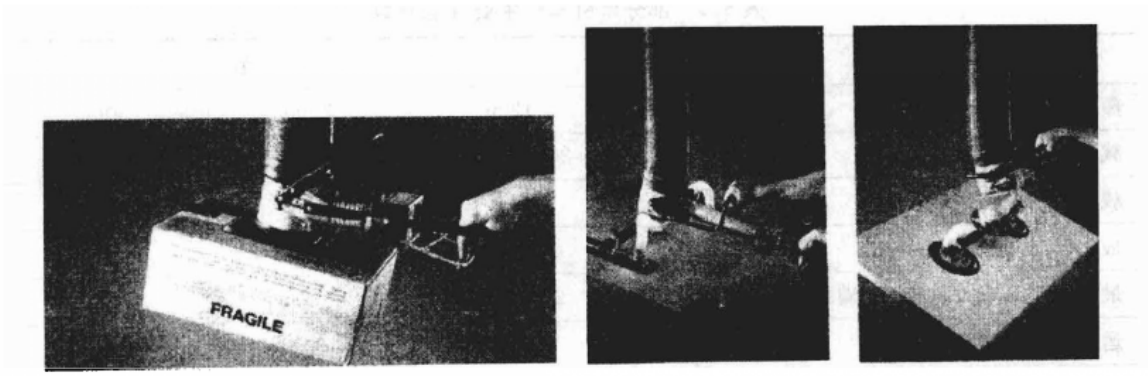
图 5.15 真空吸盘搬运机



(a) (b)

图 5.16 吸盘结构

(a) 平板吸盘；(b) 圆桶吸盘



(a) (b) (c)

图 5.17 真空吸盘搬运货物

(a) 纸箱搬运；(b) 玻璃搬运；(c) 石材搬运

5.5 托盘码货机和托盘卸货机

从仓库发货时，由输送机传送来的货物，再往托盘上码货需花费大量的劳力。特别是自动化立体仓库中的输送机高速运转时，依靠人工码货是无法应对的。现在，用托盘收发货的货场已广泛使用托盘码货机和托盘卸货机。托盘码货机是在往托盘上码货的同时能自动逐层变换码放方向的机械，而托盘卸货机是能自动地将码放在托盘上的货物逐个取出，放在输送机上运走的机械。托盘码货机有高脚式托盘码货机、低脚式托盘码货机、圆柱坐标机械手式托盘码货机、直角坐标型机械手式托盘码货机等形式。图 5.18 所示为高脚式托盘码货机，主要组成部分包括托盘供给输送机、托盘库、整形装置、堆垛装置、物品供给装置、整列输送机、方向转换装置、移载装置、升降装置和码货单元输送机等。

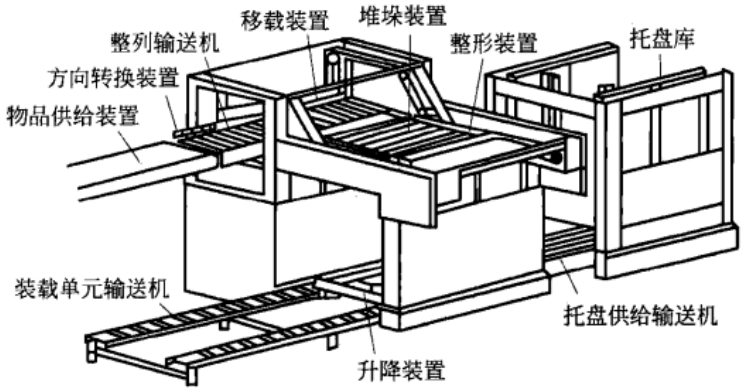


图 5.18 高脚式托盘码货机

其工作原理为：码货物品通过供给装置进入托盘码货机中，通过方向转换装置使物品按规定方向理顺过来，再由整列输送机按数量把物品整合起来，以待装入托盘中；同时，托盘库中的空托盘通过整形装置进入待装位置；移载装置把整合后的物品推到空托盘上方，通过堆垛装置整齐地堆垛在托盘上成为码货单元。通过升降装置把托盘放在准确的码货位置上。各个部位相互之间的作用如下：

① 供给装置按托盘码货机的能力，有序地把物品提供给整列输送机的自动供料装置。

② 方向转换装置根据物品的堆积法要求将物品的方向自动进行转换，便于整列输送机的顺利工作。

③ 整列输送机按规定的列数把物品整合起来，提供给移载装置，便于移载装置顺利工作。

④ 移载装置把已整列的物品，按列要求堆到堆垛装置上方，便于装到托盘上。

⑤ 堆垛装置作用是把物品堆垛在托盘上，通过对物品进行搬运、夹紧、推动等步骤之后，安全地堆垛在托盘上。

⑥ 整形装置是使物品能正确地堆放在托盘的指定位置上，对物品进行整形操作，以便顺利码货。

⑦ 托盘库是存储空托盘的装置，其作用是有序地为托盘供给输送机提供空托盘。

⑧ 托盘供给输送机是从托盘库中逐个地把托盘运送到规定的位置，以待码货之用。

⑨ 升降装置的作用对于高脚托盘码货机来说，是把托盘降低到正确的码货位置；对于低脚托盘码货机来说，是把托盘升到正确的码货位置。

⑩ 码货单元输送机是把装满货物的托盘安全地输送出来。

⑪ 工业机械手是通过程序控制的具有三轴联动的自动化装置，在物流自动化中应用较广。

⑫ 机械手是类似人手的自动装置，其作用是在两定点之间实现物品的装卸工作。

⑬ 托盘自动供给装置是把托盘库中的托盘逐个地自动提供到规定的码货位置。

除了能够自动变换货物码放方向的托盘码货机外，还有用人力变换每层货物码放方向的半自动托盘码货机，这种码货机往往用于要求降低运输成本的货场。

低脚式托盘码货机如图 5.19 所示，直角坐标式托盘码货机如图 5.20 所示。

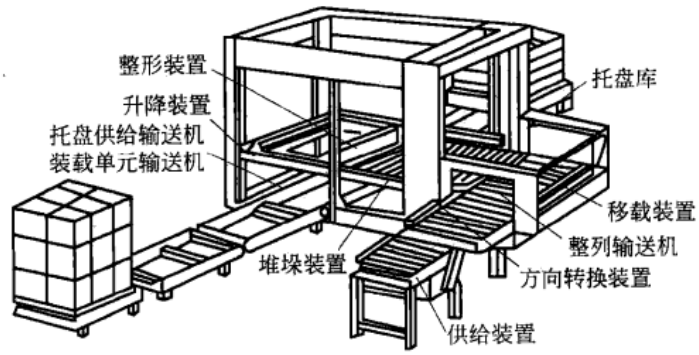


图 5.19 低脚式托盘码货机

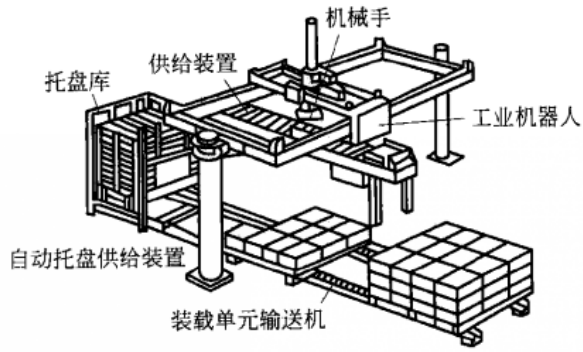


图 5.20 直角坐标式托盘码货机

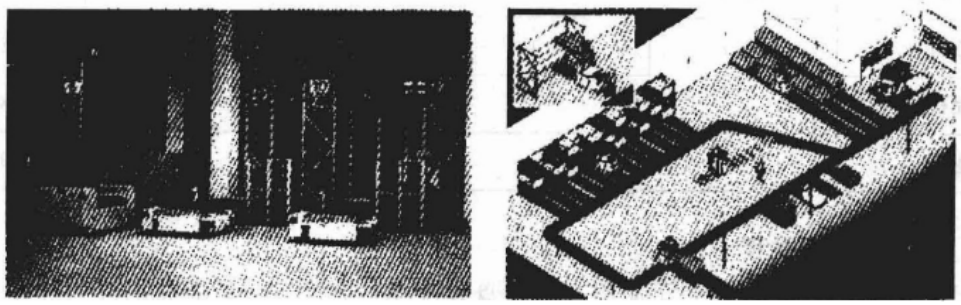
5.6 自动导引小车

自动导引小车(automatic guided vehicle，AGV)是指装备有自动导向系统，按设定的路线自动行驶或牵引着载货台至指定地点，实现物料的自动装卸和搬运，与其他物流设备自动接口，全过程自动化的无人驾驶输送设备。按日本 JISD 6801 的定义，AGV 是以电池为动

力源的一种自动操纵的工业车辆。自动导引小车只有按物料搬运作业自动化、柔性化和准时化的要求，与自动导向系统、自动装卸系统、通信系统、安全系统、管理系统等构成自动导引车系统(automatic guided vehicle system，AGVS)才能真正发挥作用。

AGVS 则是指 AGV 在中央控制计算机的管理下协调工作，并同其他物流设备实现高度集成，具备相当的柔性，而且可以通过车载计算机和网上主机与其他设备进行通信的自动化物料输送系统。

AGV 是集人工智能、信息处理和图像处理为一体，涉及计算机、自动控制、信息通信、机械设计、电子技术等多个学科的物流自动化研究和应用的热点之一，是自动化搬运系统、物流仓储系统、柔性制造系统(FMS)和柔性装配系统(FAS)的重要装备(图 5.21)。



(a) (b)

图 5.21 AGV 应用实例图

(a) 工作示意图；(b) 自动化立体仓库

5.6.1 AGV 发展概况

装卸搬运是物流的功能要素之一，在物流系统中发生的频率很高，占了物流费用的重要部分。据《2009 年中国连续搬运设备行业运行投资报告研究》显示，美国工业生产过程中装卸搬运费用占成本的 20%～30%，德国物流企业物料搬运费用占营业额的 1/3，日本物流搬运费用占国民生产总值的 10.73%，在我国生产物流中，装卸费用约占加工成本的 15%。表 5.2 为 AGV 与其他搬运工具的对照表。

表 5.2 AGV 与其他搬运工具的对照

运输工具	使用场合	用途
人力搬运车	低成本、短距离	搬运轻型物件
动力搬运车	中等成本	搬运无需堆垛的物件或容器
吊升机具	大于 100 吨的大型物件	搬运沉重、大型的物件
动力传送带	移动大量物件，动力来自传送带	大量用于手工装配线，常用于分拣系统
天车	高成本、固定路线	搬运单-组件和大量物件
AGV	高成本、电池电力交通工具，弹性路线，低噪声、低污染、效率高	用于中、低量的工作场合，搬运组合方式灵活

从20世纪80年代中期以后，57%的AGV用于汽车制造业，而在德国则高达64%。从对国外公司物料搬运系统装配类型的统计可以看出，采用自动导向车、有轨搬运车、起重机、辊子输送机和悬挂运输机的分别占41%、29%、9%、10%和11%。表5.3为AGV在国外各个行业的销售情况，说明AGV发展十分迅速和稳定。

表5.3 AGV在国外各个行业的销售情况 %

年 份	1993	1994	1995	1996	1997
汽车制造	27.2	27.6	28.1	28.6	29.7
航空国防	10.6	9.9	9.2	8.5	7.9
电子行业	12.1	12.3	12.5	12.6	12.8
服务行业	20.7	21.0	21.3	21.6	22.0
工程机械	8.7	8.6	8.6	8.6	8.6
其他	20.7	20.6	20.3	20.1	19.6

1. AGV的发展过程

1913年，美国福特汽车公司使用有轨底盘装配车。1953年，美国Barrett Electric制造了世界上第一台采用埋线电磁感应式的跟踪路径自动导向车，也称作“无人驾驶牵引车”。20世纪70年代中期，具有载货功能的AGV在欧洲得到迅速发展和推广应用，并被引入美国用于自动化仓储系统和柔性装配系统的物料运输。从20世纪80年代初开始，新的导向方式和技术得到更广泛研究和开发，主要有电磁感应引导、激光引导、磁铁陀螺引导等方式，其中以激光引导方式发展较快，但电磁感应引导和磁铁陀螺引导方式占有较大比例。20世纪90年代以来，AGV从仅由大公司应用向小公司单台应用转变，而且其效率和效益更好。

AGV在我国的研究及应用起步较晚。20世纪70年代后期，北京起重运输机械研究所研制了三轮式AGV。20世纪80年代后期，北京机械工业自动化研究所为二汽研制了用于立体化仓库中的AGV。沈阳自动化研究所为金杯汽车公司研制了汽车发动机装配用的AGV。20世纪90年代，清华大学国家CIMS工程中心将从国外引进的AGV成功应用于EIMS的实验研究，清华大学计算机技术应用系研制了用于邮政中心的AGV，昆明船舶设备研究所研制了激光导向式AGV以及吉林工业大学为汽车装配线研制了视觉导向AGV等。

2. AGV的应用领域

(1) 仓储业

仓储业是AGV最早的应用场所，1954年世界上首台AGV在美国南卡罗来纳州的Mercury Motor Freight公司的仓库投入运营，用于实现出入库货物的自动搬运。目前世界上约有2万台各种各样的AGV运行在2100座大大小小的仓库中。海尔集团于2000年投产运行的立体仓库中，9台AGV组成了一个柔性的库内自动搬运系统，成功地完成每天

23 400 件出入库货物和零部件的搬运任务。

(2) 制造业

AGV 在制造业的生产线上大显身手,高效、准确、灵活地完成物料的搬运任务,并且可由多台 AGV 组成柔性的物流搬运系统,搬运路线可以随生产工艺流程的调整而及时调整,使一条生产线可制造十几种产品,大大提高了生产的柔性和企业的竞争力。1974 年瑞典的 Volvo Kalmar 轿车装配厂为了提高运输系统的灵活性,采用基于 AGVS 为载运工具的自动轿车装配线,装配时间减少了 20%,装配故障减少了 39%,投资回收时间减少了 57%,劳动力减少了 5%。目前,AGV 在世界的主要汽车厂,如通用、丰田、大众等的制造和装配线上得到了普遍的应用。近年来,作为 CIMS 的基础搬运工具,AGV 的应用深入到机械加工、家电生产、微电子制造、卷烟等多个行业,生产加工领域成为 AGV 应用最广泛的领域。

(3) 邮局、图书馆、港口码头、机场

在邮局、图书馆、港口码头、机场等场合,物品的运送存在着作业量变化大、动态性强、作业流程经常调整以及搬运作业过程单一等特点,AGV 的并行作业、自动化、智能化和柔性化的特性能够很好地满足上述场合的搬运要求。瑞典于 1983 年在大斯德哥尔摩邮局,日本于 1988 年在东京多摩邮局,中国于 1990 年上海邮政枢纽开始使用 AGV,完成邮品的搬运工作。在荷兰鹿特丹港口,50 辆称为"yard tractor"的 AGV 完成集装箱从船边运送到几百码以外的仓库这一重复性工作。

(4) 烟草、医药、食品、化工

对于搬运作业有清洁、安全、无排放污染等特殊要求的烟草、食品、化工等行业中,AGV 的应用也受到重视。在卷烟行业中,青岛颐中集团、红塔集团、红河卷烟厂等应用激光引导式 AGV 完成托盘货物的搬运工作。

(5) 危险场所和特种作业

在军事上,以 AGV 自动驾驶为基础集成其他探测和拆卸设备,可用于战场排雷和阵地侦查,英国军方正在研制的 Minder Recce 是一辆侦查车,具有地雷探测、销毁和航路验证能力的自动型侦查车。在钢铁厂,AGV 用于炉料运送,减轻工人的劳动强度。在核电站和利用核辐射进行保鲜储存的场所,AGV 用于物品的运送,避免了辐射的危险。在胶卷和胶片仓库,AGV 可以在黑暗的环境中,准确可靠地运送物料和半成品。

3. AGV 的分类

AGV 按照导引方式的不同可分为固定路径导引和自由路径导引等;按照移载方式的不同可分为侧叉式移载、叉车式移载、推挽式移载、辊道输送机式移载、升降台式移载、机械手式移载等;按照充电的方式不同可分为交换电池式和自动充电式;按照转向的方式不同可分为前轮转向、差速转向和独立多轮转向。

4. AGV 的基本性能参数

AGV 的基本性能参数见表 5.4。

表 5.4 AGV 的基本性能参数

AGV 系统控制方式	控制站集中调度、监视、管理
AGV 控制方式	全自动/半自动/手动(可选)
通信方式	无线局域网
电压/V	48
电动机功率/kW	1～2
(长×宽×高)/mm	1566×968×350
导航方式	激光导航/电磁导航等
驱动方式	直流伺服双舵轮驱动/直流伺服双轮差动驱动等
充电方式	在线自动快速充电/离线充电/交换电池
运动方向	前进、后退、左转、右转、自旋、全方位
运行速度/(m·min^{-1})	0～100,无级变速
导航精度/mm	±10
停车位置精度/mm	±4
负载能力/kg	0～4000

5.6.2 AGV 的特点及导向调度方法

1. AGV 的工作过程

下面以激光引导 AGV 为例(图 5.22),说明其工作过程。AGV 的运行区域内,规定有通信区和非通信区。在通信区域内,AGV 通过其车载通信装置与系统控制计算机通信,报告位置及状态,并接受调度和工作指令。在非通信区域内,AGV 按照小车控制器中的预定程序独立行驶,不与系统控制计算机发生联系。当接收到货物搬运指令后,小车控制器就根据所存储的运行地图和 AGV 当前位置及行驶方向进行计算、分析,选择最佳的行驶路线,通过驱动放大器自动控制 AGV 的行驶和转向,到达装载货物目标点准确停位后,移载机构动作,完成装货过程。然后 AGV 启动,驶向目标卸货点,准确停位后,移载机构动作,完成卸货过程,并向控制计算机报告其位置和状态。随之 AGV 启动,驶向待命区域。接到新的指令后再做下一次搬运。AGV 行驶过程中,车上的激光扫描头不断地扫描周围环境,当扫描到行驶路径周围预先垂直设定好的反射板时,即"看见"了"路标"。只要扫描到三个或三个以上的反射板,即可根据它们的坐标值,以及各块反光板相对于车体纵向轴的方位角,由定位计算机算出 AGV 当前在全局坐标系中的 X、Y 坐标,和当前行驶方向与该坐标系 X 轴的夹角,实现准确定位和定向。

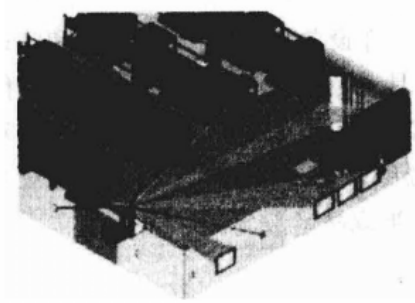


图 5.22 激光引导 AGV 工作示意图

2. AGV 的特点

(1) 无人驾驶。AGV 上装备有自动导向系统,可以保障系统在不需要人工引航的情况下就能够沿预定路线自动行驶,将货物或物料自动从起始点运送到目的地。

(2) 柔性好,自动化程度和智能化水平高。AGV 的行驶路径可以根据仓储货位的要求、生产工艺流程等改变而灵活改变,并且路径改变的费用与传统的输送带和刚性的传送线相比非常低廉。

(3) AGV 一般配备有装卸机构,可以与其他物流设备自动接口,实现货物或物料的装卸与搬运全过程自动化。

(4) 可装备多种声光报警系统,能通过车载障碍探测系统在碰撞到障碍物之前自动停车。当其列队行驶或在某一区域内交叉运行时,具有避免相互碰撞的自控能力,不存在人为差错。因此,AGVS 比其他物料搬运系统更安全。

(5) AGV 具有清洁生产的特点,依靠自带蓄电池提供动力。运行过程中无噪声、无污染,可以应用在许多要求工作环境清洁的场所。

(6) 与其他物料输送方式相比,AGV 初期投资大,但可以大幅度降低运行费用,特别是在产品类型和工位较多时。

3. AGV 导向技术及调度方法

1) AGV 的导向方法与技术

尽管对 AGV 的研究已有 50 多年的历史,但仍有多项关键技术有待提高和突破,如进一步提高 AGV 的性能、降低制造成本、减少使用费用等。其中,AGV 的核心问题是导向和控制方式。AGV 的导向方式不仅决定着由其组成的物流系统的柔性,也影响着系统运行的可靠性和组态费用。

根据 AGV 的导向信息的来源,可以分为外导式和内导式。外导式是指在车辆运行的路径上设置导向信息媒体(如带有变频感应电磁场的导线、磁带或色带等),由车上的传感器检测导向信息的特性(如频率、磁场强度、光强度等),再将此信息经过处理,控制车辆沿导向路线行驶。外导式中的超声导向、激光导向和光学导向可以称为标志反射法。内导式是指在车辆上预先设定运行路径坐标,在车辆运行过程中实时检测车辆当前位置坐标并与预先设定值相比较,控制车辆的运行方向,即采用所谓的坐标定位原理,又可称为参考位置设定法。另外,根据 AGV 导向的线路形式,又可分为有线式和无线式。表 5.5 为不同导向方法的对比。

表 5.5 AGV 的导向方法

分类	按信息来源		按线路形式	
方式	外导式	内导式	有线式	无线式
方法	电磁导向 超声导向 激光导向 光学导向 标线导向	坐标识别 惯性导向 自主导航	电磁线路 磁带线路 色带线路 网格线路 标线线路	超声导向 激光导向 坐标识别 惯性导向 自主导航

在上述导向方法中，所采用的导向技术主要有电磁感应技术、激光检测技术、光反射检测技术、惯性导航技术、图像识别技术等，选用何种技术一定要根据具体情况和要求来确定。

(1) 电磁感应引导式 AGV

其基本工作原理是在 AGV 的运行路径上开设一条宽约 5 mm，深约 15 mm 的铺线槽，并通以 5～30 kHz 的交变电流形成沿导线扩展的交变磁场。车上对称设置两个电磁传感器。当交变电流流过电缆时，在电缆周围产生电磁场，离导线越近处，磁场强度越大，远处其磁场强度弱。通过感应线圈的电磁场在线圈两端感应出电压，这一电压与磁场强度成正比。当电缆处于线圈中间时，左右线圈的电压相等，转向信号为零。当引导天线偏向引导电缆的任一侧时，一侧线圈电压升高，另一侧的电压降低，两个感应线圈的电位差就是操纵 AGV 转向的信号，从而控制转向电动机来校正 AGV 的运行方向(图 5.23)。

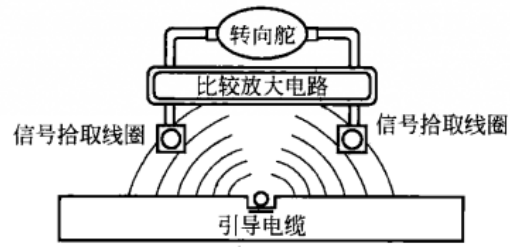


图 5.23 电磁引导原理图

电磁导向分单频制和多频制导向。前者是在整个线路上通以单频率电流，通过通断电流信号控制运行。这种方式要求设置集中控制站，并在各线路的交叉和分支处装设传感标志和分支路段的通断接口。后者是在每个环线和分支路线上通以不同频率的电流电缆，由 AGV 控制器通过天线分别检测出信号，用于控制和引导 AGV 沿指定路线运行。天线及其感应线圈用于检测 AGV 相对于引导电缆的偏移量，精确校正 AGV 的运行方向。此导向方法可靠性高，但对地面的平整度要求高，改变运行路径困难，因而适用于大中型的 AGV，目前仍在较广泛地应用。除电磁感应埋线导向(图 5.24)外，还有磁场强度固定的磁带和磁钉导向方式，其导向原理也是通过车上对称设置两个电磁传感器检测车辆相对运行路径的偏离程度来引导车辆。

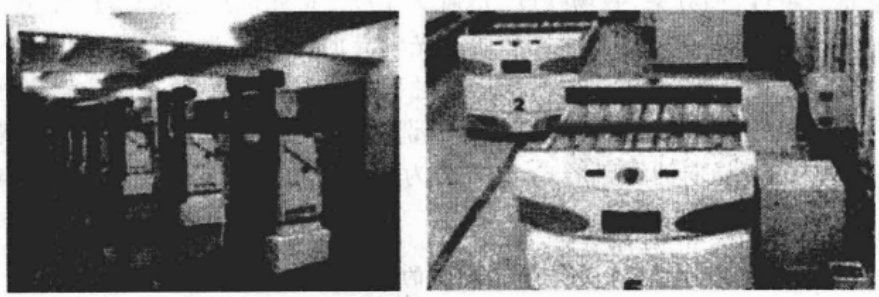


图 5.24 电磁/磁带引导式 AGV(埋入式)

(2) 激光引导式 AGV

激光引导式 AGV 利用安装在 AGV 上的可旋转激光扫描器识别设置在运行路径沿途墙壁或支柱上的高反光性的定位标志，AGV 依靠激光扫描器发射激光束，然后接受由四周定位标志反射回的激光束，车载计算机计算出车辆当前的位置和运行方向，通过和内置的数字地图进行对比来校正方位，从而实现自动搬运。这种工作方式属于激光引导式引导(图 5.25)。

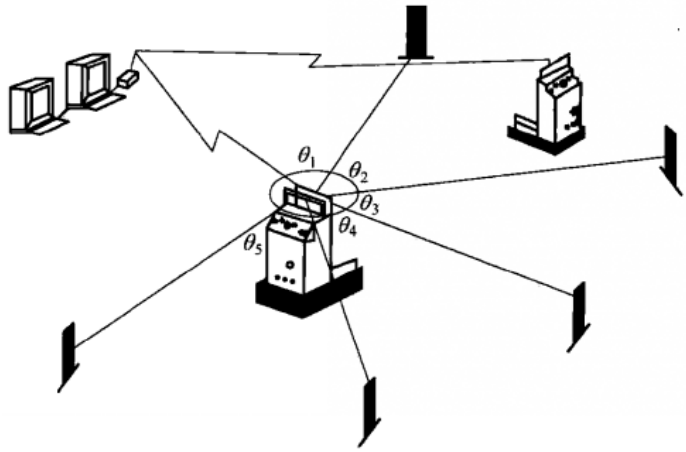


图 5.25 激光引导式 AGV 示意图

激光引导式 AGV 的组成如图 5.26 所示。图中 A 为反射片，固定在墙上或立柱上，作为引导参考点；B 为激光扫描器，发射和接受信号，提供微电脑控制器引导的信息；C 为微电脑控制器，作为运行的主控制器；D 为车载控制面板，监控运行状态，也可直接下移载指令；E、F 为伺服控制器，用于控制行走和转向伺服马达。激光扫描器一般安装在 AGV 的较高位置，使各定位标志与激光扫描器较好地呼应，并通过系统的串行接口与 AGV 的控制板连接。

激光引导装置可采用 GaAs 脉冲激光器，旋转扫描速率为 10 r/s，即 AGV 的激光引导装置每隔 0.1 s 测量并计算一次自身的坐标位置，AGV 的激光发射头如图 5.27 所示。定位标志的可见距离通常大于 30 m，并保持在运行中每次至少要检测出 3 个标志，以保证定位精度。目前，该种的 AGV 应用越来越普遍。依据同样的引导原理，若将激光扫描器更换为红外发射器或超声波发射器，则激光引导式 AGV 可以变成红外引导式 AGV 或超声波引导式 AGV。

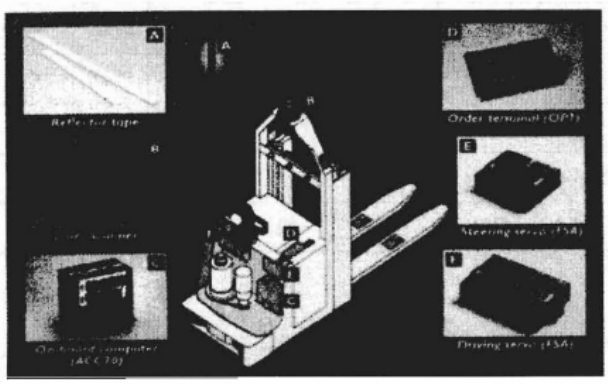


图 5.26 激光引导式 AGV 的组成图



图 5.27 AGV 的激光发射头

(3) 惯性导航式 AGV

惯性导航是在 AGV 上安装陀螺仪，在行驶区域的地面上安装定位块，AGV 可通过对陀螺仪偏差信号的计算及地面定位块信号的采集来确定自身的位置和方向，从而实现导引。这种引导方式是在沿引导路径的地面上每隔 5～10 m 安装一对小磁铁。磁性传感器是利用

霍耳元件检测磁场的、基于微处理器的传感器。当 AGV 通过路面上的小磁铁时，传感器给出 AGV 的 X 和 Y 坐标。陀螺传感器是一种固态、六轴角速度传感器，其输出电压与其敏感轴上的转速成正比。小车在行驶时有一个基准方位，用陀螺仪测量加速度，并将陀螺仪的坐标高速转换成平行小车的行驶方向。当小车运行中偏离其规定路径时，将产生一个垂直于其运动方向的加速度。惯性导航系统计算机对加速度进行二次积分处理就得到总体偏差，从而作为纠正小车行驶方向的依据，确定 AGV 的行驶方向。这种引导方式适用于不能埋设引导电缆的场合。

(4) 视觉引导式 AGV

视觉引导式 AGV 是正在快速发展和成熟的 AGV，该种 AGV 上装有 CCD 摄像机和传感器，在车载计算机中设置有 AGV 行驶路径周围环境图像数据库。AGV 行驶过程中，摄像机动态获取车辆周围环境图像信息并与图像数据库进行比较，从而确定当前位置并对下一步行驶做出决策。这种 AGV 由于不要求人为设置任何物理路径，因此在理论上具有最佳的引导柔性，随着计算机图像采集、储存和处理技术的飞速发展，其实用性越来越强。

(5) 光学引导式 AGV

采用光学检测技术引导 AGV 的运行方向，一般是在运行路径上铺设一条具有稳定反光率的色带。车上光源发射和接受反射光的光电传感器，通过对检测到的信号进行比较，调整车辆的运行方向，其工作原理见图 5.28。

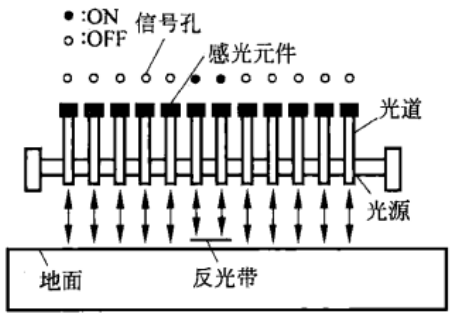


图 5.28 光学引导 AGV 的原理图

AGV 的各种引导技术的对比见表 5.6。

表 5.6 AGV 导航方式对照

控制名称	控 制 方 法	地址方式	系统	可靠性	走行精度	成本	发展前景
光导航	色线、光电开关	一维	简单	差	一般	低	差
磁导航	磁贴线、磁感应传感器	一维	简单	较好	一般	较低	一般
电磁导航	电磁引导线、电磁感应传感器	一维	一般	较差	一般	较高	差
陀螺导航	陀螺导航仪	二维	复杂	较好	较低、积累误差	高	差
激光导航	激光头、数字	二维	复杂	较好	较好	较高	好
图像识别	色线、摄像头、数字	一维	简单	较好	一般	较高	好

2) AGV 的路线与调度方法

AGV 使用中的路线优化和实时调度是当前 AGV 领域的一个研究热点，实用中，人们采用的方法主要有如下几种。

(1) 数学规划方法

为 AGV 选择最佳的任务和最佳路径，可以归纳为一个任务调度问题。数学规划方法是求解调度问题最优解的传统方法，该方法的求解过程实际上是一个资源限制下的寻优过程。实用中的方法主要有整数规划、动态规划、Petri 方法等。在小规模调度的情况下，这类方法可以得到较好的结果。但随着调度规模的增加，求解问题耗费的时间呈指数增长，限制

了该方法在负责大规模实时线路优化和调度中的应用。

(2) 仿真方法

仿真方法通过对实际的调度环境建模，而对 AGV 的一种调度方案的实施进行计算机模拟仿真，用户和研究人员可以使用仿真手段对某些调度方案进行测试、比较和监控，从而改变和挑选调度策略。实用中采用的方法有离散事件仿真方法、面向对象的仿真方法和三维仿真技术，有许多软件可用于 AGV 的调度仿真，其中 Lanner 集团的 Witness 软件可以快速建立仿真模型，实现仿真过程的三维演示和结果的分析处理。

(3) 人工智能方法

人工智能方法把 AGV 的调度过程描述成一个满足约束的解集搜索最优解的过程。它利用知识表示技术将人的知识包括进去，同时使用各种搜索技术力求给出一个令人满意的解。具体的方法有专家系统方法、遗传算法、启发式算法、神经网络算法。其中，专家系统方法在实际应用中较多采用，它将调度专家的经验抽象成系统可以理解和执行的调度规则，并且采用冲突消解技术来解决大规模 AGV 调度中的规则膨胀和冲突问题。由于神经网络算法具有并行运算、知识分布存储、自适应强等优点，因此成为求解大规模 AGV 调度问题的一个很有希望的方法。目前，用神经网络方法成功求解了 TSP-NP 问题。求解中，神经网络能把组合优化问题的解转换成一种离散动力学系统的能量函数，通过使能量函数达到最小而求得优化问题的解。遗传算法是模拟自然界生物进化过程中遗传和变异而形成的一种优化求解方法。遗传算法在求解 AGV 的优化调度问题时，首先通过编码将一定数量的可能调度方案表示成适当的染色体，并计算每个染色体的适应度(如运行路径最短)，通过重复进行复制、交叉、变异寻找适应度大的染色体，即 AGV 调度问题的最优解。单独用一种方法来求解调度问题，往往存在一定的缺陷。目前，将多种方法进行融合来求解 AGV 的调度问题是一个研究热点。如将专家系统与遗传算法融合，把专家的知识融入到初始染色体群的形成过程中，以加快求解速度和质量。

5.6.3 AGV 的组成

AGV 目前仍以叉车式和转载平台式为主，通常以蓄电池为动力源，直流电动机驱动行走、转向和举升。运行部分多采用三轮式、四轮式、六轮式或多轮结构形式，可单向、双向或四向运动。三轮常采用前轮驱动和转向方式，四轮和六轮常采用双驱动差速转速和内面独立转向方式(表 5.6)。举升机构一般由电动机、蜗杆减速器、滚珠丝杠及螺母等组成。一般举升高度的 AGV 可采用单节固定式门架，高举升的采用双节或三节伸缩式门架，通过链轮和链条实现伸缩。图 5.29 为单台 AGV 的基本组成。

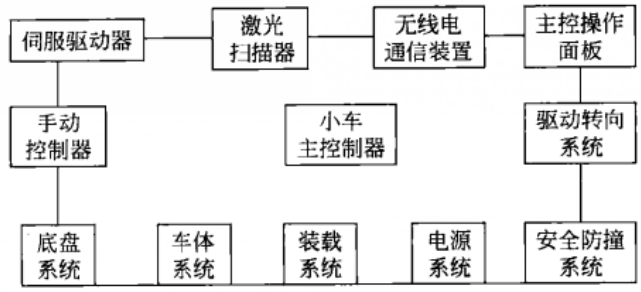


图 5.29 激光引导式单台 AGV 的组成

1. 车体系统

车体系统包括底盘、车架、壳体、控制室等，是整个 AGV 的躯体，具有电动车辆的结构特征和无人驾驶自动作业的特殊要求。

1）车体框架

框架分为主框架和副框架两部分(上下两层)。上层为控制系统与云台系统，下层为运动机构，底盘则安装车轮、检波线圈(磁传感器)和直流伺服电动机。主框架和副框架用可拆卸连接，物料交换台位于主框架上面。小车还安装有一套 PLC 控制装置，小车的前后各有一组跟踪传感器和碰撞停车开关。有些在小车的云台系统上安装有摄像头。摄像头既可以上下运动或旋转，也可以绕本身轴线上仰或下俯。小车上还有一手动操作台，以备在特殊情况下对小车的运行进行人工干预。AGV 总体框架结构如图 5.30 所示。

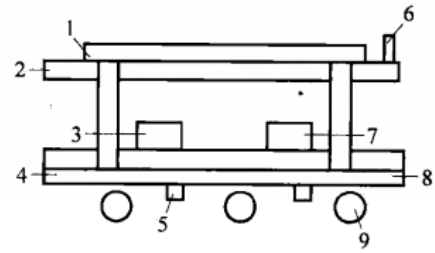


图 5.30 AGV 的总体框架结构图

1—载荷传输机构；2—主框架；3—蓄电池；4—副框架；5—电磁传感器；6—无线电装置；7—车载机；8—红外线测障器；9—车轮

2）车轮

车轮采用实心橡胶轮胎。车体中部两主动轮为固定式自位轮，与轮毂式电动机相连。前后四个随动轮为旋转式自位轮，起支承和平衡小车的作用。

3）载荷传送装置

若 AGV 采用辊筒式传送结构。辊筒安装在主框架纵向方向，辊筒的移动方向垂直于 AGV 行驶方向。

2. 驱动/导向系统

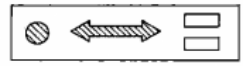
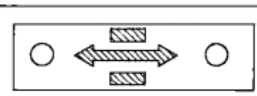
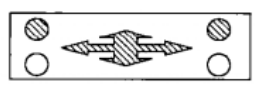
1）动力装置

AGV 以蓄电池作为动力源。当电压降到某一下限时，AGV 会自动行驶到充电站口充电。在此下限电压情况下，AGV 还能完成一次最大强度的工作。

2）驱动装置

AGV 的驱动系统和导向系统是密不可分的，又都跟采用的小车底盘的结构形式有关。AGV 的驱动轮对其行走特性、控制方式、回转空间及价格等都有很大影响。表 5.7 列出它们的区别。

表 5.7 AGV 的车轮配置方式

类　别	车轮配置结构	行进方向	导引控制难易度	回转空间	价格	适用场合
单导向驱动型 Steering-drive-type		前进，慢速后退	易	较大	较便宜	单向搬运
差速驱动型 Differential-drive-type		前进及后退	普通	中	普通	双向来回搬运及有限回转空间
双导向驱动型 Double-steering-drive-type		前进，后退及横移	难	较小	较贵	回转空间小及需要横移

若 AGV 采用六轮底盘、中间两主动轮差速驱动/导向，两主动轮分别由两个直流伺服电动机驱动，则通过控制电动机电压可以控制车轮的转速。利用两轮的转速差可以实现转向。该机构还包括制动器，当需要紧急停车时，按制动器开关，可通过电磁离合器来制动车轮。

3）导向系统

采用电磁引导系统时，AGV 的导向标志与传感器一般有两种组合形式。

(1) 磁条加霍耳传感器

如果采用这种形式，就需要在期望路径上贴有磁条，同时在车底对称安装霍耳传感器。

(2) 导线加检波传感器

在预定路线上埋设导线，通以低频低压正弦波信号。安装在车体下方的检波线圈感应到磁场，通过比较、放大等处理，将信号送至控制器。控制器发出信号调节转速，从而引导 AGV 沿正确路径行驶。

若采用了第二种形式，将导线沿预定路线埋在地下约 2 cm 处，并通以低频正弦波信号。若电流为

$$I(t) = I_0 \sin(\omega_0 t)$$

该导线产生的磁场

$$B = \mu_0 (2\pi L) = \mu_0 I_0 \sin(\omega_0 t)/(2\pi L)$$

检波传感器产生的感应电动势

$$U = -\,\mathrm{d}\Phi/\mathrm{d}t = -\,NS\ \mathrm{d}B/\mathrm{d}t = -\,NS\mu_0 I_0 \omega_0 \cos(\omega_0 t)/(2\pi L)$$

式中，N——线圈匝数；

S——线圈面积。

假设传感器安装处与磁条的高度差为 h，则

$$L_1^2 = a_1^2 + h^2$$

$$L_2^2 = a_2^2 + h^2$$

两个传感器的输出电动势之比

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_1}{I_2}$$

当 $h \ll a$ 时，可以近似地认为 $L_1 = a_1$，$L_2 = a_2$，则小车的中心线实际位置与预期位置的偏差为

$$E_y = (a_2 - a_1)/2 = (L_2 - L_1)/2 = (U_1 - U_2)(L_1 + L_2)/(2U_1 + 2U_2)$$

$$= (U_1 - U_2)a/(U_1 + U_2)$$

式中，a_i——相应传感器和小车中心线的距离。

图 5.31 所示表现了其电动势与传感器位置之间的关系。下面对 AGV 的转弯运动做初步分析。小车在转弯时的状态见图 5.32，小车以速度 v 匀速转弯；小车两主动轮之间的距离为 D；小车两主动轮中心（假设小车质量分布均匀）与转弯圆心的距离（即转弯半径）为 R；车轮半径为 r；两轮的转速分别为 N_1、N_2；小车与行驶路面的摩擦系数为 μ，则有

$$R > v^2/(\mu g)$$

$$2\pi r N_2 = (2R + D)v/(2R)$$

$$2\pi r N_1 = (2R - D)v/(2R)$$

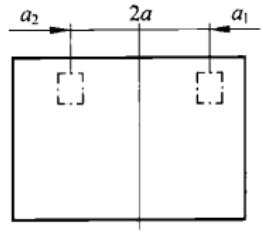


图 5.31 传感器的相关分析

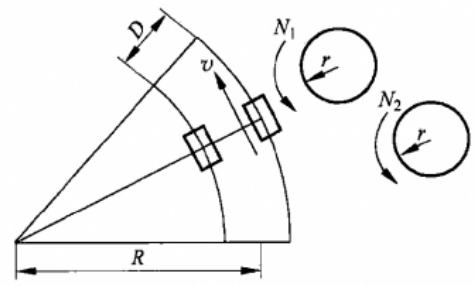


图 5.32 AGV 的转弯状态示意图

图 5.32 表示利用左右两轮的转速差实现转向。

4) 定位装置

因为系统中 AGV 的载荷装卸平台在某些站点需要直接作为工件加工平台，因此定位精度为偏差 1 mm。为了满足定位精度，AGV 一般采用二级定位，即光电定位和机械定位。

光电定位，在小车接近目的站点时，会接收到一个光信号。小车转而执行定位子程序，停到期望的位置上。机械定位用圆锥孔和圆锥销配合，获得较高的定位精度。

3. 控制/通信系统

无论采用何种引导方式，现代的 AGV 都带有以微处理器为核心的控制器，用于 AGV 的定位，控制其沿指定路线运行和搬运货物，以及与集中控制和管理计算机进行通信，反馈 AGV 的当前状态，并接受调度和工作指令。AGV 的车载控制器既可以采用以微机系统为核心的专用控制器，也可以采用由 PLC 组成的通用控制器，配备有完善的 A/D、D/A 和数字 I/O 接口或模块。控制系统分为地面控制和车载控制两部分。

1) 地面控制部分

地面控制部分主要由上位计算机和远程控制计算机以及通信装置组成。上位计算机负责 AGV 系统与外部系统的联系与管理；远程控制计算机向辖区内所有 AGV 发出指令和进行系统监视，具有作业高度和交通管理等综合处理能力；通信装置可供 AGV 地面控制和车载控制实现信息指令交流。

2) 车载控制部分

车载控制部分主要包括导引、定位通信、伺服、诊断、控制等，是小车的核心部分。其基本功能是通过声、光、电等方式来引导小车，判断其状态，确定其位置，决定其工作目标和实施控制。它具有与地面控制保持实时通信联络和接受指令的作用，是小车行驶和进行作业的直接控制中枢。

一般用 PLC(programmable logic controller)作为车载计算机。除了控制小车本身的动作，同时还通过通信系统报告 AGV 的状态、接受 AGVS 主机发出的指令并负责执行任务。

为了更好地实现系统控制，在网上增加一个专门负责管理 AGVS 的网点，即 AGVS 中的主机(host computer)，由它通过无线电发射、接受装置与 AGV 上的车载机(PLC)进行通信，其网络如图 5.33 所示。Novell, Inc. 是主要的网络服务软件提供商，提供的服务可保护和增强分布于主流操作系统间的各类网络——因特网、内部网、外部网、有线网到无线网、公司网到公共网。

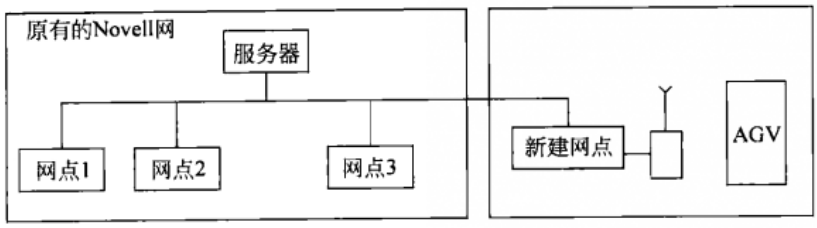


图 5.33 新增 AGVS 模块后的 Novell 网

在系统的设计中，根据主要产品的生产工艺，在主要工序处安排了工作站点，还设有成品仓库站点和充电处。如图 5.34 所示，该路线在 AGV 正常工作时只允许沿箭头方向单向行驶，以简化 AGVS 的交通控制和调度管理。

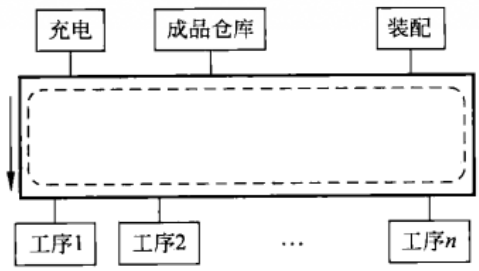


图 5.34 路线布局和工作站点布置示意图

AGVS 的控制一般有两种方式，即分散控制和集中控制。若考虑到系统将来的扩展，可采用集中控制方式，即由图 5.33 中所示的新增网点（AGVS 的主机）不停地与执行任务的 AGV 通信，安排各 AGV 的任务，指导 AGV 选择正确的行驶路径，处理十字路口的交通安全问题等。分叉口的路径选择采取频率选择法。AGV 从车载 PLC 或主机中获得指令，以选择正确的频率。具体地说，当 AGV 进入站点面临路径选择时，由主机通知 AGV 正确的频率，然后由车载机启动相应的子程序解决。AGV 的转弯和进入站点信息由预先布置的发光装置驱动。当 AGV 经过预定地点，车上的光电传感器接受到信息，并将其输入车载机，再由车载机向上级计算机报告。

实际工作中，系统工件的搬运任务由主机来负责管理和调度。当工位上有搬运任务时，操作人员通过分布在工位上的 Novell 点的键盘向主机申请自动导向车，由主机运行调度程序，从空闲 AGV 队列中选出最佳 AGV，并安排执行次序。然后由装在主机上的无线电发射器给相应的 AGV 一次性输入宏指令，每次宏指令包括：AGV 号、本次任务的起始站点和目的站点。AGV 接到命令后启动车载 PLC，执行相应的程序。当 AGV 完成一次搬运任务后，就停在目的工位处，并通过 AGV 上的无线电发射装置通知主机，申请加入空闲 AGV 队列，在工位上等待下一次搬运任务。图 5.35 是 AGV 工作的控制实例图，图中 ST 为物料装卸站，TC 为数据传送器。

3）AGV 的智能化

随着传感技术和信息技术的发展，AGV 也在向智能化方向发展，国外也称 AGV 为智能搬运车。AGV 智能化的主要特征是控制系统的微处理器化和集中控制及管理软件功能上的智能化。

4. 安全系统

安全装置的作用包括防止设备在运行中出错，也预防运行出错对人员及其运行环境设施产生的影响。安全装置的功用除了保护 AGV 自身安全以及维护 AGV 功用的顺利完成外，还在最大可能的范围内保护人员和运行环境设施的安全。

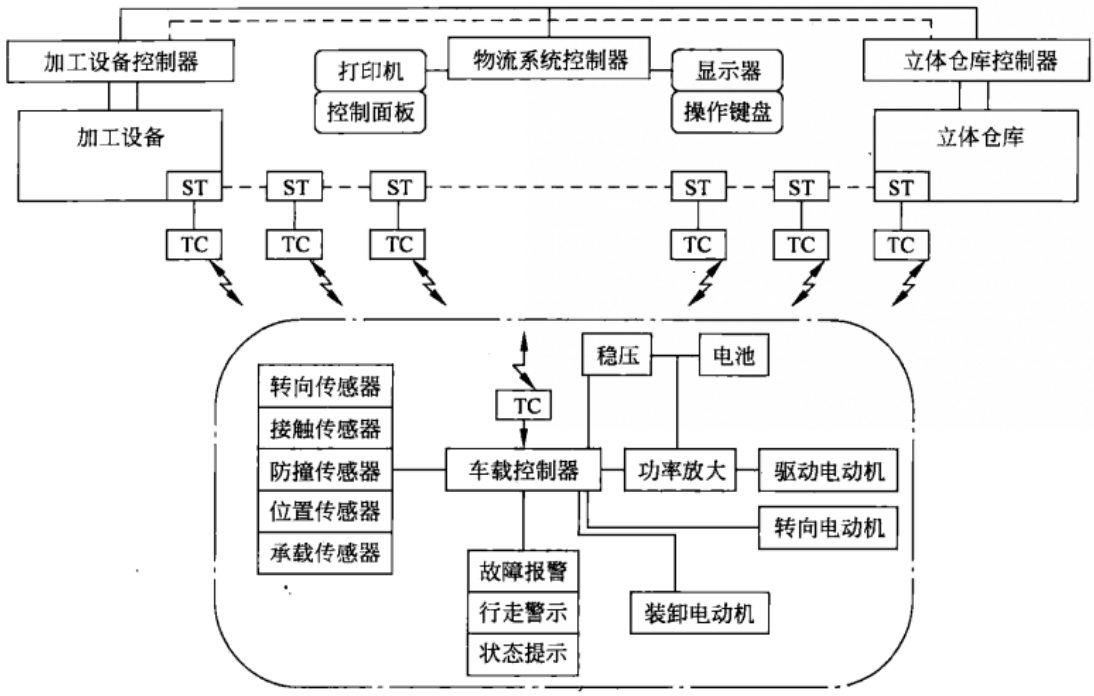


图 5.35 AGV 工作的控制实例图

1）车身

车身是装配 AGV 其他零部件的主要支承装置，是运动中的主要部件之一。无论是框式结构还是其他机构，考虑运行中的 AGV 可能会同人或者其他物体相碰撞，除了操作上的需要，车身的外表不得有尖角，其他突起等危险部分。

2）障碍物接触式缓冲器

一般地，障碍物接触式缓冲器设置在 AGV 车身运行方向的前、后方，缓冲器的材质具有弹性和柔软性，这样在故障解除后，能自动恢复其功能。缓冲器的宽度，在正常情况下，应大于或等于车身宽度，当产生碰撞事故时，使其发生一定的变形，从而触动有关限位装置，强行使其断电停车。显然，这种机构的作用将受到路面的光滑平整度、整车及载货重量、运行速度、限位装置的灵敏度等因素的影响，其安全保护措施是终端安全保护屏障。

3）障碍物接近检测装置

障碍物接近检测装置是障碍物接触式缓冲器作用辅助装置，它将带给 AGV 合适的运行速度，减小惯性，缓慢停车，它是先于障碍物接触式缓冲器发生有效作用的安全装置。一般地，障碍物接近检测装置有两级以上的安全保护设置。在一定距离范围内，它将使 AGV 降速行驶；在更近的距离范围内，将使 AGV 停车；而当解除障碍物后，AGV 将自动恢复正常行驶状态。障碍物接近检测装置有激光式、超声波式、红外线式等多种类型。

4）自动装卸货物的执行机构的安全保护装置

AGV 的主要功能是解决物料的全自动搬运，除了其全自动运行功能外，还有自动装载和卸载货物的装置。如辊道式 AGV 的辊道，叉车式 AGV 的货叉等，这类机构归为自动装卸货物的执行机构。执行机构为 AGV 上“动中之动”的结构，其安全保护装置为又一难点，其结构包括机械和电气两大类。一般在同一辆车上，都具备机械和电气这两类保护装置，而

且互相关联，同时产生保护作用，如位置定位装置、位置限位装置、货物位置检测装置、货物形态检测装置、货物位置对中结构、机构自锁装置等。

5）警报装置

为了通知 AGV 的运动状态和唤起周围的注意，AGV 须装备多种警报装置。

（1）自动运转显示灯

AGV 自动运行时，显示灯亮；AGV 处于非自动运行状态时，显示灯灭。

（2）运行警报器

AGV 在运行及移载过程中，根据不同的环境，警报装置产生相应的警报信息。

（3）前进警报器

AGV 由停止状态进入运行状态时，在前进之前发出警报。

（4）后退警报器

AGV 处于后退运行状态时，发出警报。

（5）异常警报器

AGV 发生异常时，警示灯亮，警报器发出声音告诉人们发生了异常情况。

（6）左转、右转显示灯识别

AGV 的左转和右转方向，显示灯相应亮。

（7）急停装置

AGV 在突发异常状况下，必须有急停装置维护自身。急停装置位于车身上便于识别操作的位置，通过“手按”等简单的操作就可实现紧急停止的功能。急停装置具有系统连锁保护功能，紧急停止后，只要停止原因的安全性得不到确认，就算已解除异常，AGV 也不会再次启动运行。急停装置还具有手动控制功能，在异常状况下，操作人员可以通过手动操作 AGV。

（8）状态监视装置

监视 AGV 运行状态，特别是当 AGV 发生异常时，能够具有了解该状态及其原因的监视功能。

6）充电保护装置

AGV 结构设计的又一难点是其动力源装置的设计。动力源的功率大小直接影响 AGV 的功用，而动力源的体积大小将直接影响整车的体积及外观造型。蓄电池被选作为 AGV 动力源。铅酸蓄电池、镉镍蓄电池、镍锌蓄电池、镍氢蓄电池、锂离子蓄电池等可供选用，需要考虑的因素除了功率大小、安时数多少、功率重量比、体积大小等外，最关键的因素是充电时间的长短和维护的方便性。快速充电为大电流充电，一般为专业的充电装备，其本身必须有充电限制装置和安全保护装置。充电装置在小车上的布置方式有多种，一般有地面电靴式、壁挂式等。在设计过程中，必须结合 AGV 的运行状况，综合考虑其在运行状态下，可能产生的短路等因素，从而考虑设置 AGV 的安全保护装置。

附录 A 中给出 AGV 的应用实例，供读者参考。



检测传感装置

检测传感技术中的关键是传感器。它是将被检测对象的各种物理量转为电信号的一种变换器。在传输系统中，它主要被用于检测物流机械系统中的自身、输送的物品与作业对象、作业环境的状态，向控制器提供信息以决定系统的动作。传感器的精度、灵敏度和可靠性很大程度上决定了系统性能的好坏。因此它在传输系统中占有非常重要的地位。

检测传感技术包含两个方面的内容，一是传感器本身的研究和应用，二是检测装置的研究与开发。

传感器的发展是伴随新材料、新原理的出现而产生的。20 世纪 60 年代中期，半导体技术渗透到传感器领域，出现了半导体温度传感器和半导体磁传感器等元件。陶瓷和有机材料进入传感器领域，出现了性能稳定的新型温度、湿度、速度、离子等传感器。光导纤维在传感器中的应用，解决了电量传输的抗干扰等问题。

测量装置是把传感器的原始输出信号进行放大、滤波、整形、阻抗变换、运算补偿、标定记录等处理的装置。微型计算机的应用，使测量装置发生了根本性的变化。带微机的测量装置既扩大了检测的功能，又提高了测量精度和可靠性，成为检测传感技术中非常重要的部分。

6.1 自动检测技术

6.1.1 自动检测装置的分类

自动测量装置的门类和规格繁多，有以下几种分类方法。

按测量信号的转换原理分有电气式（电感式、互感式、电容式、电接触式和光电式等）和气动式（浮标式、波纹管式和膜片式等）。

按传感器与被测物的接触情况分接触式和非接触式。接触式传感器直接与被测表面相接触，被测参数的变化直接反映在敏感元件的移动量上，然后通过传感器转换为相应的电参数或电信号。按传感器与被测物表面的接触点数目又可分为单点式、两点式和三点式。非接触式的传感器不与被测表面接触，而是借助气压、磁场、光束或放射性同位素的射线等的作用，反映被测参数的变化。这种测量方式不会因为传感器与被测物接触发生磨损而影响测量精度，因此，在传输系统上使用的大多为非接触式。

按检测目的分有尺寸测量、形状测量、位置测量等宏观、微观尺度的测量，材质（内部组成结构、化学成分）及力（压力、应力等）测量。

按检测方式分有被测元件加工完成后撤至测量环境中的被动检测、在线的主动检测和在加工位置的工序间检测。从应用时间场合上分，在自动化机床上应用的主动检验装置有零件加工前用的、加工过程中用的和加工后在机床上立刻检验用的三种。在零件加工前用的主动检验装置仅有很少的应用例子。例如，生产活塞的自动化工厂，在按活塞重量修整工序中，对活塞进行预先自动称量，并根据称量结果，令活塞在机床上占据一定的加工位置，这个位置能保证切下所需的金属量。在零件加工过程中的自动测量装置已得到广泛应用。加工中测量仪与机床、刀具、工件组成闭环系统，测得的工件尺寸用作控制反馈信号，不仅能减小工艺系统的系统误差，还能减少偶然误差。加工后用的自动补偿装置，能根据刚加工完的工件尺寸信号，判断刀具磨损情况。当尺寸超出某一界限时，令补偿机构动作，防止后面加工的工件出现废品。加工和检验过程合一的综合自动检测系统能达到比较好的主动检测效果。通过不断报告检测结果、零件达到规定尺寸后机床自动退刀、有出废品危险时立即停车等方法，主动控制工艺过程，并对加工过程自动进行调节，对加工参量自动进行补偿。

6.1.2 自动检测中常用的传感器

传感器是自动检测装置中的基本组成部分，其作用是将检测项目的特征参数变换为便于应用的物理量，以便于测量、放大、显示或直接控制执行机构。

1. 位移传感器

当物件位置发生移动或两个表面有位置差别时，位移量/位置差可用位移传感器来检测。根据其工作介质，位移传感器分为光位移传感器和超声波位移传感器两类。激光是光位移传感器的最佳光源，将激光束投射到物件上，利用三角测量法就能测出物件的位移量(图 6.1)。激光位移传感器的光束直径很小，能有效地检测出物件表面的高度差。超声波

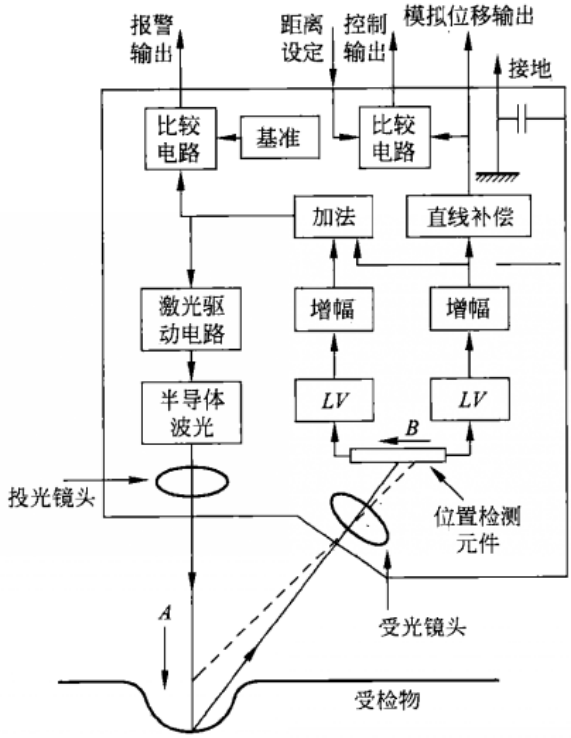


图 6.1 三角测量法

位移传感器的工作介质是超声波。超声波投射到物件表面后被反射回来，计算该过程所用的时间就能检测出不同表面的位置差。因超声波位移传感器不受颜色影响，因此受检对象可为多色物体、透明体、镜面体。投光镜头零件加工和装配系统中经常应用位移传感器进行自动检测。

2. 视觉传感器

视觉传感器一般由数码摄像机(如 CCD 相机)、光源、计算机、图像采集卡等装置组成，如图 6.2 所示。摄像机及前端安装的镜头为机器视觉检测系统的视觉传感器，担负着摄取物体图像和对物体图像进行适当放大或缩小的任务。摄取的图像通过图像采集卡输入计算机。计算机控制图像的获取、输出、转换以及后续处理。零件加工和装配系统中，可用机器视觉系统来识别、检查、监测工件或刀具的形状、尺寸、位置和姿态以及表面状态。

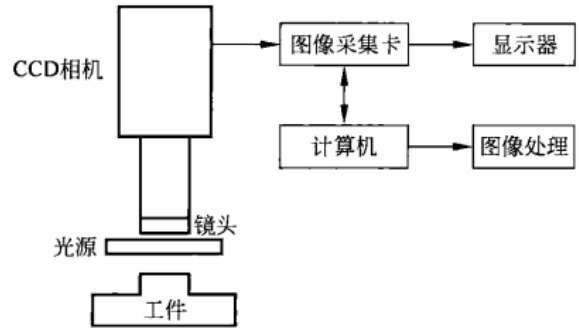


图 6.2 机器视觉检测系统的组成

3. 光电传感器

光电传感器通常又称光电开关，它由投光-受光头、放大器、电源-控制器 3 个组件组成。在实际产品中，这 3 个组件有时被做成一体，有时只将投光-受光头和放大器做成一个部件。按光电信号的检测方式，光电传感器分成 6 类，即透射型、回归反射型、扩散反射型、标记识别用反射型、限定反射型及沟槽型。传感器光源可以选用白炽光、红光、绿光、红绿光。光电传感器常用于加工和装配线中的自动检测、自动识别。如对机壳的螺孔钻孔后，若未攻丝便流入装配作业，会造成不必要的损失，使用光电传感器可以有效地对其进行识别，如图 6.3 所示。光电传感器的另一个重要用途是利用光构筑安全屏障，当人或其他运动物体闯入禁止区域时，光电传感器便发出报警信号，并让执行机构紧急动作。

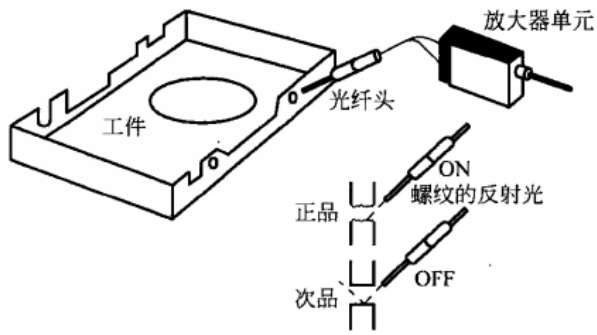


图 6.3 螺孔检测

4. 接近传感器

接近传感器就是通常所说的接近开关，其种类多、应用范围广。按照工作原理，接近开关可分成基于磁场效应和基于电场效应两类。其中基于磁场效应的可分为高频振荡型、差动线圈型和磁力型 3 种；基于电场效应的属于静电电容型。按照外形，接近开关可分成棱柱形、圆柱形、贯通形、沟形、多点形和平面安装形 6 种。在自动加工和装配系统中，接近开关常被用于状态检测。如在采用自动化设备拧紧螺钉的装配系统中，借助接近开关可检测出未拧紧或漏拧的螺钉；使用金属贯通式接近开关，可以高速清点出金属零件的数量、辨别零件的形状，而且通过接近开关的姿态不影响清点的结果。图 6.4 是一个应用接近开关和以非接触方式进行纸箱标签检测应用，检测传感器为聚焦式传感器，具有蓝色 LED 光源，焦距为 38 mm。该设备可以可靠检测牛皮纸箱上的白色标签，传感器与对射式光纤配合使用，当纸箱到位时输出导通，作为标签检测传感器的门信号，检测标签的有无。

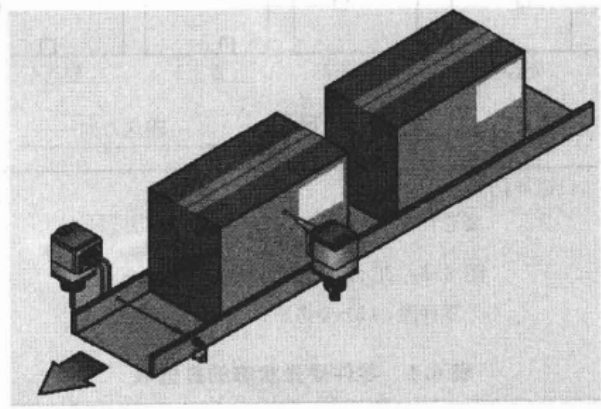


图 6.4 纸箱标签检测

6.2 工件的自动检测

6.2.1 工件的自动识别

工件的自动识别是指快速获取传输或加工中的工件几何特征信息，从而自动判断工件的形状、姿态和位置。对工件形状进行识别与检测的方法有多种，其中利用光敏元件的感光和基于工业摄像机视觉的形状识别系统是典型的非接触式自动识别与检测系统。

1. 利用光敏元件的感光

利用光敏元件与光点的适当位置进行工件姿态的判别是目前应用比较普遍的识别方法。这种检测方法是以零件的瞬时定位点为基础的。瞬时定位点是指在零件输送过程中，用以确定零件瞬时位置和姿态的特征识别点。识别瞬时定位点的光敏元件可以嵌置在供料器输料轨道的背面，利用在轨道上适当地方开设的槽或孔使光源照射进来。当不同姿态的零件通过该区域时，各个零件的瞬时定位点受光状态会有所不同。在对零件输送过程中的姿态进行识别时，主要依据零件瞬时定位点的受光状态。受光状态和不受光状态分别用二

进制码 0 和 1 来表示。对工件姿态和位置的识别常在动态中实施(如在加工机床上或自动输料线上),故必须满足不干扰工件运动、合理选择瞬时定位点、可靠设置光点位置 3 个技术条件。如在物流系统的自动供料的过程中,零件的姿态表示其在送料轨道上运行时所具有的状态。由于零件都具有固定形状和一定尺寸,在输送过程中可视为刚体。要使零件的位置和姿态完全确定,需要确定其 6 个自由度。当零件定位时,只要通过对其上的某些特征要素,如孔、凸台或凹槽等所处的位置进行识别,就能判断该零件在输送过程中的姿态是否正确。图 6.5 为薄片状零件在输送轨道中的 4 种姿态及其光点的设置,图中在 T 处设置瞬时定位点,在 A、B、C 处设置识别工件姿态的光点。经过图示输送方向产生的工件不同姿态造成识别的结果如表 6.1 所示。

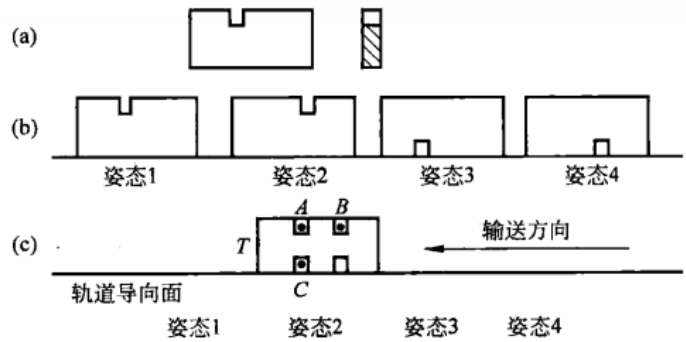


图 6.5 工件姿态识别的光点判断

(a) 零件图;(b) 姿态图;(c) 投影重叠图

表 6.1 零件受光状态的真值表

工件姿态	识别点工作状态			识别结果
	A	B	C	
1	0	1	1	正确
2	1	0	1	错误
3	1	1	0	错误
4	1	1	1	错误

2. 利用光电传感器

在零件或成品检测线、机器装配线上常用光电传感器来识别零件。螺母是装配作业中用量很大的零件,可利用装配系统中的光电传感器来自动判别螺母的正反面,如图 6.6 所示。其原理是:螺母正面平整光洁,形成镜面反射,螺母反面加工有齿形花纹可形成漫反射,选用只能接受漫反射光的光电传感器,就能区别螺母的正面与反面。

3. 利用机器视觉

机器视觉就是用视觉传感器代替人眼来做测量。在现代制造业中,应用机器视觉技术最为广泛的是那些重复性检测相同部件或产品的场合,以及连续地、大量地识别不同部件或产品的场合。机器视觉识别系统的工作原理是:获取被测零件的图像,将其经二值化处理

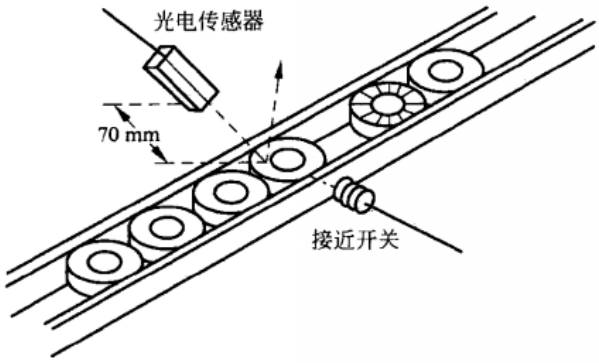


图 6.6 螺母正反向识别

后的图像与事先储存在计算机里的标准零件二值化图像进行比较，由两者的形状特征数据比较结果而自动判断两者的相符合程度。进行位置识别时，只需存储标准零件两个以上特征点，与被测工件的相应位置进行比较，就可确定工件是否到位。对于工件姿态的识别，则主要考虑检查工件与标准工件之间可能产生的转角，可通过增加工件的特征点来进行姿态正确与否的识别。零件加工检测线和机器装配线上常用机器视觉识别系统来检查、监测物料的形状、位置和姿态，其特点是非接触、客观、自动、连续、效率高、精度高、柔性好。图 6.7 是多种零件分类检测线上零件识别的示意图。视觉控制装置中事先存放了一批零件的标准图片，通过摄像机从传送带上摄取的零件图像被控制器处理成实物图片，用实物图片与标准图片进行比较和确认，从而快速识别线上流过的零件。识别结果作为驱动执行机构的信号，据此将线上混杂的不同零件分拣放行。

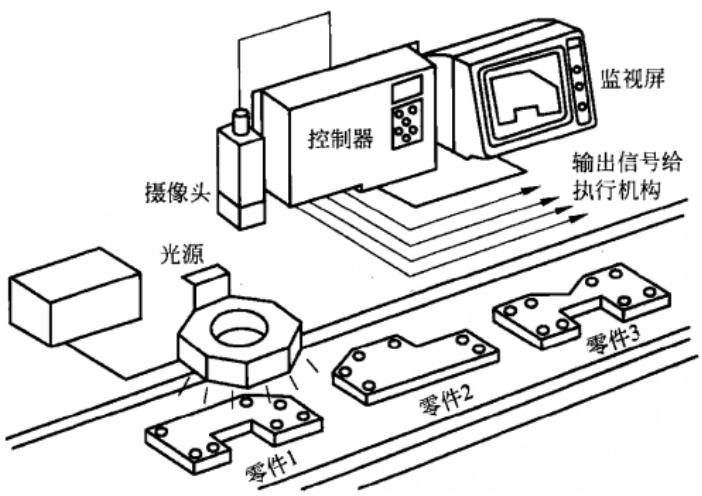


图 6.7 多种零件识别分拣

图 6.8 是装配线上机器人搬运工件的示意图。其原理为：工件的重心位置和放置角度被机器视觉系统检测出来并传送给机器人的控制器，根据该检测数据，控制器控制机器人手臂作相应移动，然后抓取工件。

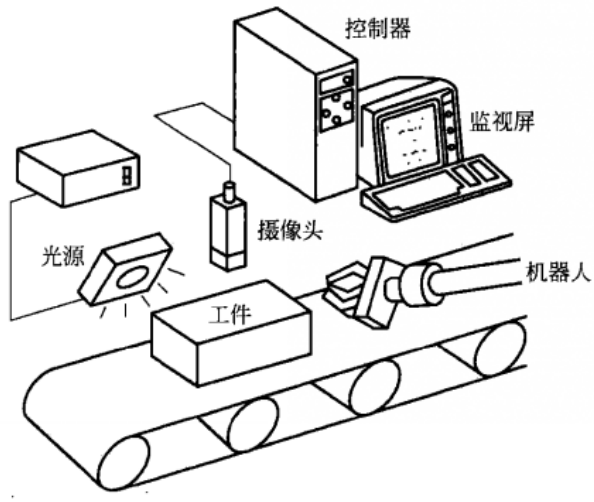


图 6.8 装配线上的零件识别

6.2.2 工件尺寸和形状的自动检测

1. 离机和在位自动检测

(1) 三坐标测量机

三坐标测量机(coordinate measuring machine,CMM)是一种检测工件尺寸误差、形位误差以及复杂轮廓形状的自动检测设备,在尺寸精度检测方面性能卓越,测量数据精确、可靠,而且使用 CMM 比用传统方法能大大提高测量效率。

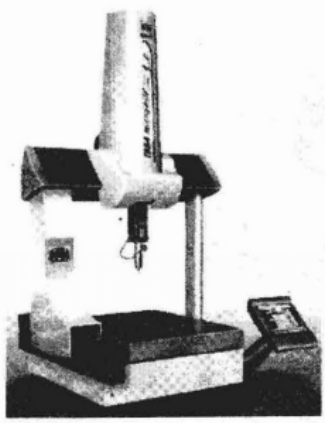


图 6.9 龙门式三坐标测量机

三坐标测量机由安装工件的工作台、三维测量头、坐标位移测量装置和计算机数控装置等组成,其结构布局有立式和卧式两类。立式 CMM 有龙门式和悬臂式结构。图 6.9 所示为龙门式三坐标测量机。为了得到很高的尺寸稳定性,三坐标测量机的工作台、导轨和横梁多采用高质量的花岗岩制成,三维测量头的头架与横梁之间采用低摩擦的空气轴承连接。CMM 的精密测量头有很多种形式。接触式测量头的触针与开关连接,当触针偏转时,开关闭合,有电流通过。CMM 控制系统连续扫描测量头的输入。当检测出开关闭合时,系统就采集 CMM 各坐标轴位置寄存器的当前值。CMM 和数控机床一样,其工作过程由事先编好的程序控制,数控装置发出位移脉冲,经位置伺服进给系统驱动各坐标轴移动部件的运动,位置检测装置,如旋转编码器、感应同步器、角度编码器、光栅尺、磁栅尺等,检测移动部件的实际位置。在数控程序的控制下,测头接触工件表面并沿被测工件表面移动,移动过程中不断产生的接触信号被采集到 CMM 各坐标轴位置寄存器中,计算机根据记录的测量结果,按给定的坐标系统计算出被测尺寸。三坐标测量机可以直接利用计算机辅助设计和制造系统中的编程信息对工件进行测量和检验,传出检测信息,构成设计-制造-检验集成系统。例如在柔性制造系统中,可以通过 DNC 系统由上级计算机将 CMM 实测数据传送至加工机床的计算机控制器,据此修正

数控程序中的有关参数(如刀具直径和长度),补偿机床的加工误差。这样可以在线利用三坐标测量机的测量数据,以最短的时间滞后检查出零件精度发生的异常,据此采取相应对策,把生产混乱降到最低程度。

(2) 接触式三维测量头

三坐标测量机的测量精度很高,但是为了保证它的高精度测量,避免因振动、环境温度变化等造成的测量误差,必须将其安装在专门的地基上,并在很好的环境条件下工作。被检测零件必须从加工机床卸下安装在测量机上才能测量,测量结果不符合要求时必须返工,有时零件需要在加工机床与测量机之间反复装卸几次才能满足最终要求。显然这样会影响生产效率。一个解决方法是将三坐标测量机上的三维测头直接安装在计算机数控机床上,该机床就能像三坐标测量机那样工作。在新型的数控机床上,特别是在加工中心类机床上,三维测头的使用已经很普遍。它可以安放于机床刀库中,在需要检测工件时由机械手取出并和刀具一样进行交换装入机床的主轴孔中。

图 6.10 为数控加工中心采用红外信号三维探测头自动测量的系统原理图。当装在主轴上的测头量杆接触到工作台上的工件时,立即发出接触信号,通过红外线接收器传送给机床控制器,计算机控制系统根据位置检测装置的反馈数据得知接触点在机床坐标系或工件坐标系中的位置,通过相关软件进行相应的运算处理,以达到不同的测量目的。

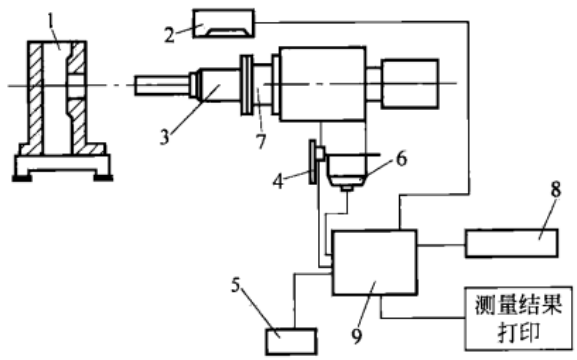


图 6.10 三维探测头自动测量系统原理图

1—工件;2—接收器;3—测头;4—x、y 轴位置测量元件;5—程序输入;6—二轴位置测量元件;7—机床主轴;8—CNC 装置;9—显示器

图 6.11 为英国 Ddcam 公司新近推出的 PowerINSPECT 在机检测系统软件界面。该系统的工作过程是:将机床刀具卸下,换上接触式触头;通过 RS-232 进行加工机床与安装有 PowerINSPECT 软件的测量计算机之间的通信,导入零件 CAD 模型;脱机编辑三维接触式检测路径;进行模拟检测,修改检测路径;内置后处理,生成检测路径 NC 程序并输出到机床控制器;执行在机接触式检测,由无线接收器接收触发式测头的每个位置信号;检测信号输入测量计算机,检测软件把检测得到的信息与 CAD 模型作对比;输出分析结果。

该系统在 CNC 机床上运行,通过完整的模拟环境(可模拟机床、测头、测针等),针对几何特征和自由曲面来脱机编辑检测路径。可进行全方位的碰撞干涉模拟检验,经碰撞检查后的检测路径由内置后处理软件编译成 NC 程序并输出到机床控制器。机床操作者可以像运行普通加工程序那样运行检测路径,进行工件在机检测。检测范围包括工件的各种几何特征、形位公差、自由曲面、边缘检测和截面。利用该系统可以在零件从机床上卸下之前完

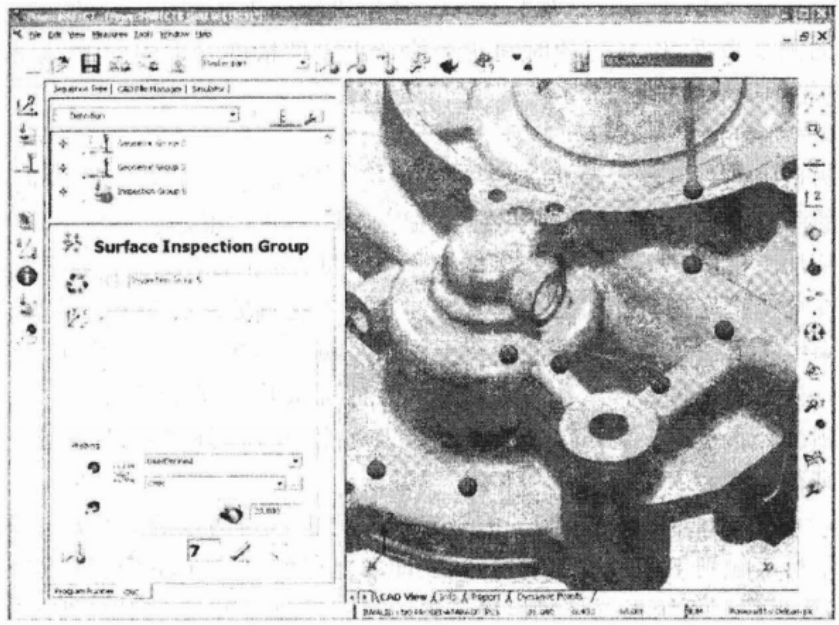


图 6.11 PowerINSPECT 在机检测系统软件界面

成在机检测，判断零件加工质量问题，由此大大减少零件返修率和重复装夹时间，提高成品率。在数控机床和加工中心上用三维测量头随机测量工件二维尺寸一般是在停止加工的静态下进行，属于加工工序间检测或者加工后的在机检测，检测数据可直接用于加工机床的控制反馈。

(3) 柔性三坐标测量臂

将机器人与三维测量头相结合，构建成机动灵活的便携式二维测量臂，即柔性三坐标测量机，可以就地快速组装和安装，不但可以自接在加工或装配现场实施检测，还具有逆向工程功能和无测量死角、使用方便等特点，很适合于复杂件的检测。

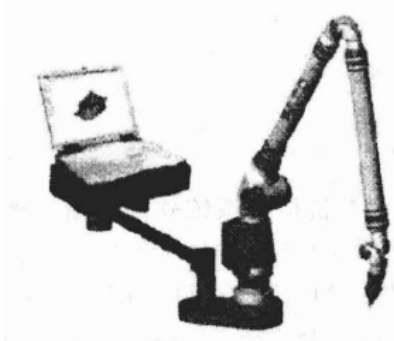


图 6.12 FARO 便携式自由测量臂

图 6.12 所示为美国 FARO 便携式六关节自由测量臂，只有 6.8 kg，通过三角架或者互接安装在花岗岩或金属工作台表面(具备 3.5 英寸真空、磁力底座等选配件)，只需几秒的安装时间。它能取代传统的测径器、千分尺、深度计、高度计、直径仪器、测隙规、厚薄规、柱形测孔规、显示测径器标尺及角度测量器等测量仪器，实现零件的在线快速 3D 无死角测量，自动记录测量过程中用户的所有测量数据并创建综合报告。简单测量范围包括直线度、平面度及平行度、同心度、圆度及垂直度；综合测量范围包括圆槽、矩形槽、螺栓样品的直径、角度、平面、柱面及锥面。重复测量时只要按一下按钮就可实现重复操作，而且能方便地绘图、测量频率。标准配置机型的测量范围为 1.2 m 直径空间，测量精度在 5～10 μm 之间，允许加速度大于 10^5 rad/s^2。

上述测量系统中，也可以将三维接触式测量头换成其他形式的测量头。

(4) 机器视觉系统

机器视觉系统可用于工件尺寸和形状的离线或在线检测，尤其是那些重复性检测相同部件或产品的场合。检测范围涵盖微结构尺寸和形状、大结构尺寸和形状、复杂结构尺寸和形状以及自由曲面尺寸和形状。对微结构尺寸检测，传统的方法采用万能工具显微镜或者激光衍射法。前者容易受测头形状、大小的影响；后者对测量环境要求苛刻，同时只能测量较简单的结构尺寸(如细丝直径、薄带宽度等)。对于较复杂的微结构尺寸以及像光纤等透明、易变形的目标，两者均无能为力。视觉检测技术也具有非接触的特点，并且不一定要求采用相干光源，因此其测量过程不会受到测头、相干光等因素的影响。此外，图像检测的精度和测量范围主要由摄像系统的分辨率和放大倍数决定，调节摄像系统的放大倍数就能实现大范围测量(如从微米级到毫米级)，同时保证较高的测量精度。带大显示屏的二维视像投影仪已在机械制造企业广泛应用于微小工件和刀具、元器件的平面尺寸和形状的精密检测，有些投影仪还附有电子测头作接触式高度、深度检测。

对大型零件采用机器视觉检测时，可以对零件的不同部位进行拍摄，得到多幅局部重叠的图像，然后利用图像之间的信息冗余进行图像拼接，得出零件的完整图像，再对拼接后的图像进行分析，得到零件的完整结构尺寸。当零件表面本身缺乏明显特征时，为了实现多幅图像的准确拼接，可以在零件表面设置若干尺寸精确的附加特征标志，如图 6.13 所示。这种检测方法相对简单、经济，同时能够达到较高的精度。

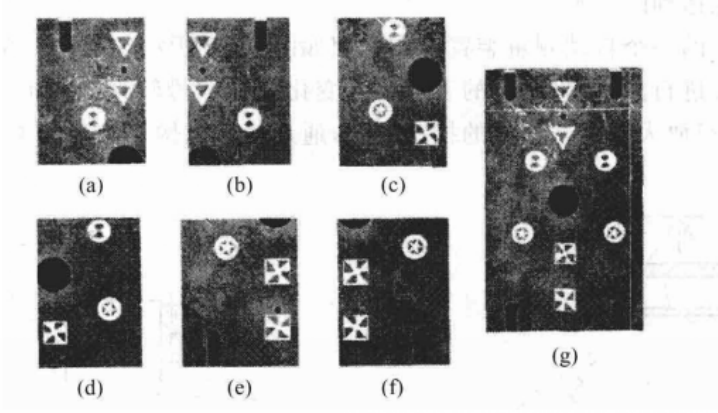


图 6.13 大型零件的多图拼接

(a)～(f) 各大零件的局部图像；(g) 拼接后零件的整体图像

齿轮、螺纹、凸轮等均是机械制造业中常用的重要零件，由于这些零件形状复杂、参数繁多，用常规通用仪器测量的过程非常复杂，检测精度和效率较低，常需采用专用测量仪器，其成本很高。机器视觉检测技术用于这类检测则具有很大优势，它只需要一幅或几幅图像就可以获得零件的复杂轮廓信息并很快完成分析处理，给出测量结果。

自由曲面通常是指无法确切用解析几何的方法描述的曲面，如模具、飞机、汽车、家用电器等的复杂外观造型。自由曲面的高精度检测技术，近年来成为研究和应用的热点。自由曲面传统的检测方法有手工测量法、机器人测量法、三坐标机测量法及经纬仪组合测量法等。如果将机器视觉方法和结构光应用于自由曲面检测，其测量速度和效率均优于以上方法，并且测量精度与三坐标测量机相当。结构光三维视觉基于光学三角法测量原理。如

图 6.14 所示，光学投射器（可以是激光器，也可以是投影仪）将一定模式的结构光投射于物体的表面，形成由被测物体表面形状所调制的光条三维图像。该三维图像由处于另一位置的摄像机摄取，从而获得光条二维畸变图像。光条的畸变程度取决于光学投射器与摄像机之间的相对位置和物体表面形廓（高度）。通过相移法和灰度编码技术的结合，解决两幅图像空间点的对应问题，利用双目视觉的原理得到形体的三维坐标信息。通过多幅图像的拼接，可实现大型物体的轮廓检测。

在工程实践中，利用结构光测量大型工件，一次测量 500 mm×500 mm 范围的面积，测量时间仅 5 s，测量点距 0.3 mm 左右，拟合精度可达到 0.02～0.03 mm。与 CAD 模型对比分析，可以及时发现误差，防止出现废品。

结构光三维测量具有量程大、视场大、精度较高、光学条纹或结构光特征图像信息提取简单、实时性强及主动受控等优点。同时，由于使用高能量光源照明，可以在自然环境下工作，抗杂光干扰能力强，能够适应工厂生产环境对加工工件检测、特别是对大型工件进行高精度检测的需要。

2. 在线自动检测

将自动测量装置安装在机床上，可在加工的同时自动检测工件尺寸和形状的变化，并根据检测结果发出相应信号，控制机床的加工过程（如变换切削用量、停止进给、退刀和停机等）。如今一些安装有测量探针的标准机床所能达到的检测精度和重复精度已经接近过去只有 CMM 才能达到的水平。

磨削加工中的一个自动测量装置工作原理如图 6.15 所示。工件 1 在机床 5 加工时，自动测量头 2 对其进行测量，将测得的工件尺寸变化量经信号转换放大器 3 转换成相应的电信号或气信号，经放大后返回机床的控制系统，通过执行机构 4 控制加工过程。

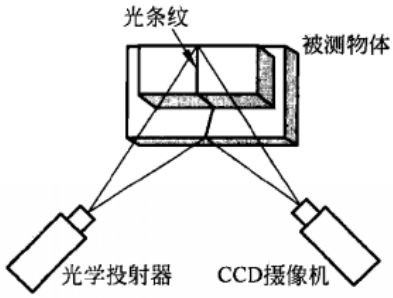


图 6.14 结构光主动视觉原理图

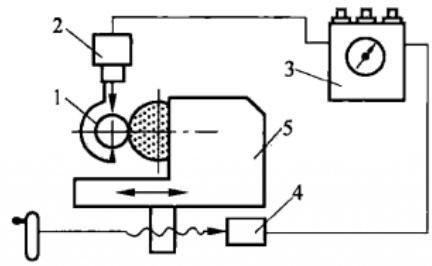


图 6.15 磨削加工中的自动测量装置

1—工件；2—自动测量头；3—放大器；4—执行机构；5—机床

（1）定尺寸点接触式测量装置

定尺寸装置进行在线尺寸检测在磨削加工中应用比较多见，在其他切削加工工序中应用很少。因为磨削工序的加工余量小，切削细小，发热量小，而且加工区域供有大量的切削液，可迅速去除加工时产生的热量，同时工件表面粗糙度低，因而不会引起较大的测量误差。下面给出两个磨削加工过程中定尺寸在线测量的例子。

图 6.16 为内孔单触点测量装置，图（a）中接触点垂直放置，随着内孔尺寸增大，测量杠杆向上移动，使摆杆顺时针方向转动。当粗磨结束时，量杆抬起的高度刚好使左触头断开，因此磨床由粗进给变为细进给。当零件达到规定尺寸时，摆杆与右触头闭合，使机床停止进

给。图(b)是带有摆动杠杆和落下触头的测量装置，随着孔尺寸的增大，摆杆 17 逆时针方向转动，压下支承在弹簧片上的杠杆 23。当粗磨终止时，接触杠杆 10 与杠杆 23 的左端刀口脱开，使电触头 8 闭合，机床由粗进给转换为细进给。当零件达到最后尺寸时，接触杠杆 11(比接触杠杆 10 略低)才滑过杠杆 23 的刀口，电触头 9 闭合，停止进给并停机。这类单触点式测量装置对主轴振摆的反应都很灵敏，测量精度不高。两点式或三点式的测量装置，能消除工艺系统的弹性变形、主轴振摆和工件振动的影响。

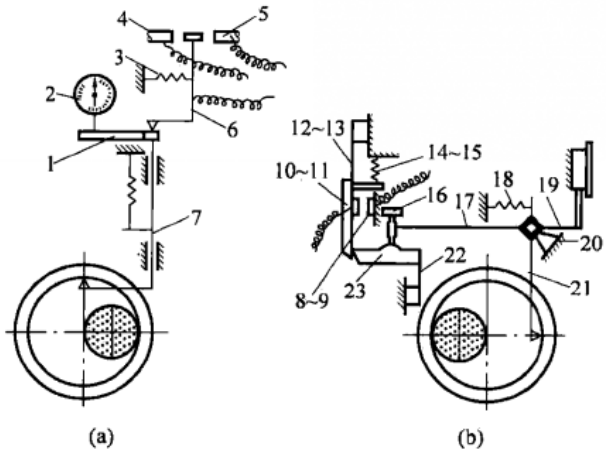


图 6.16 内孔单触点测量装置

1—板；2—千分表；3、14、15、18—弹簧；4、5、8、9—电触头；6、7、19、21、23—杠杆；10、11—接触杠杆；12、13、22—板簧；16—可调螺钉；17—摆杆；20—支铰

图 6.17 为三点接触式测量装置。图 6.17(a)中通过弹簧 4 使活动触点 3 经常与工件表面相接触，另外两支点为固定点，其中下支点 1 与轴线成 15°，以使卡规的侧支点 2 紧靠在工件表面上，测量杆 L 端斜块 5 紧压在指示表 6 的触头上，随时反映出加工工件的尺寸。卡规的接触支点和斜块处镶有硬质合金，以防磨损而影响测量精度。图 6.17(b)为能发出多个控制信号的三点式卡规，可实现磨床工作循环的自动化。该装置包括：平衡架 7、传感器 8、电子装置 9、接触仪 10、继电器 11 和控制机床运动的电磁铁 12。其自动化的原理是：在加

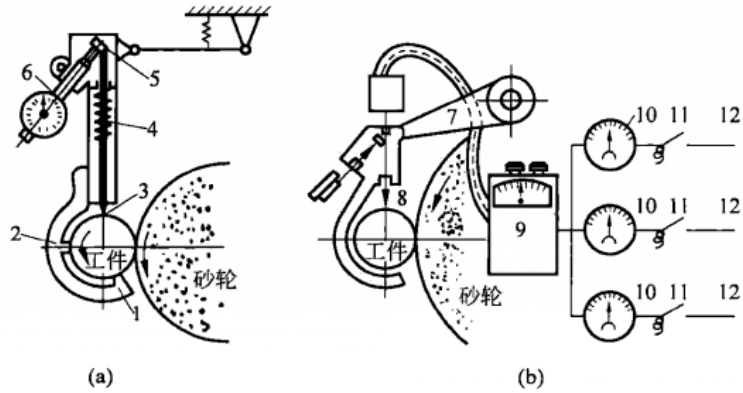


图 6.17 三点接触式测量装置

1—下支点；2—侧支点；3—活动触点；4—弹簧；5—L 端斜块；6—指示表；7—平衡架；8—传感器；9—电子装置；10—接触仪；11—继电器；12—电磁铁

工过程中电气传感器按照已经完成的各加工阶段传出电气信号，经过电子放大器接通相应的工作继电器，使液压装置的电磁铁动作，实现横向送进量的改变及循环结束后砂轮架自动退回等动作。

三点接触式测量装置在磨削圆柱形表面的轴、孔及其端面的过程中得到了广泛应用。

(2) 气动式自动测量装置

气动测量法是在加工过程中非接触式检验零件尺寸的一种主要方法，它可以将加工工件尺寸的微小变化量放大 2000～10 000 倍，测量精度和灵敏度均很高，广泛运用于加工中的自动测量。加工中所使用的气动式自动测量装置通常由测量头、气动量仪和光电控制器 3 部分组成。常用的气动测量仪分为流量型(浮标式)和压力型(薄膜式、波纹管式和水银柱式等)两大类。外圆磨削中使用的压力型单点式气动测量装置如图 6.18 所示，测量头体 3 装在磨床工作台上，测量杠杆 2 的硬质合金端与工件 1 的下母线相接触，另一端面与气动喷嘴 4 相对，中间留有一定间隙量。测量杠杆 2 的中部薄弱具有一定弹性，以保持触头对工件的测量压力，锁紧螺钉 5，可借助螺母 6 调节量头的高低。气动量仪所发出的气压信号，不能直接控制执行机构，一般需将测量结果转换为相应的电信号，因此，通常需要有电—气信号转换器。

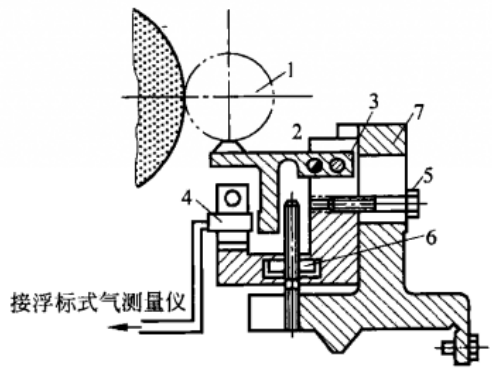


图 6.18 压力型单点式气动测量装置

1—工件；2—测量杠杆；3—测量头体；4—气动喷嘴；5—锁紧螺钉；6—调节螺母；7—底座

(3) 激光测量

激光测量在机械制造中的应用日益广泛，它不仅可以测量长度、小角度、直线度、平面度、垂直度等，还可以测量速度、位移、振动、表面微观形貌等，以及可以进行大尺寸测量、动态测量、在线测量，容易实现测量的自动化。激光测量的精度很高，常用的双频激光测量系统测长度时的分辨率达到 0.01 μm，采用空气参数补偿后测量精度达到 0.1 μm。

单频激光干涉测量系统原理如图 6.19 所示。氦氖激光管 1 产生的激光经透镜组后成为平行光束，经反射镜 4 到分光镜 5，激光被分为两路：一路到装在被测件 8 上的移动反射

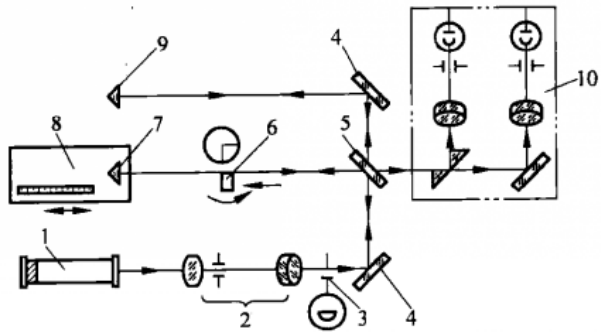


图 6.19 单频激光干涉测量系统原理图

1—氦氖激光管；2—透镜组；3—半圆光阑；4—反射镜；5—分光镜；6—相位板；7—移动反射棱镜；8—被测件；9—固定反射镜；10—干涉测量器

镜 7 而反射回来，另一路经反射镜 4 到固定反射镜 9 再反射回来。这两路反射回来的激光通过分光镜 5 而汇合形成干涉。移动反射棱镜 7 随被测件 8 运动，使该路的光程变化，造成干涉条纹亮暗变化。被测件每移动激光波长 λ 的一半，干涉条纹亮暗变化一周期。相位板 6 用于获得两路相位差为 90°的干涉条纹信号的细分和辨向。该两路相差 90°的干涉信号通过干涉测量器 10，最后成为具有长度单位当量的脉冲，显示出被测件的移动距离。半圆光阑 3 的作用是防止返回激光回到激光管。

激光频率和幅值的改变都会影响到单频激光干涉测量系统的精度，因此，环境（气压、湿度、温度、气流等）变化将影响激光测量精度。双频激光干涉测量系统受环境干扰的影响比单频激光测量系统小很多，使测量精度大为提高，因而得到广泛应用。如很多超精密机床上都装有双频激光位移传感器，检测机床 z 向和 x 向运动部件的位移，与精密数控系统组成精密反馈控制系统，以保证加工的尺寸精度。这种测量系统的激光管输出的激光可在强磁场作用下分裂成 f_1 和 f_n 两个频率，旋向相反的两束圆偏振光，它们经 1/4 波片成为垂直和水平两个方向的线偏振光。

机械制造实际测量应用中经常需要多路激光同时进行测量，如数控超精密车床机用两路激光同时测量，三坐标测量机需要用二路激光同时测量。将一路激光用分光镜分为几路激光的技术很简单。图 6.20 所示为三坐标测量机所用的三路激光测量系统，激光器 1 出来的激光经分光镜 2 分成测量 x、y、z 三个方向位移的三路激光位移测量系统。

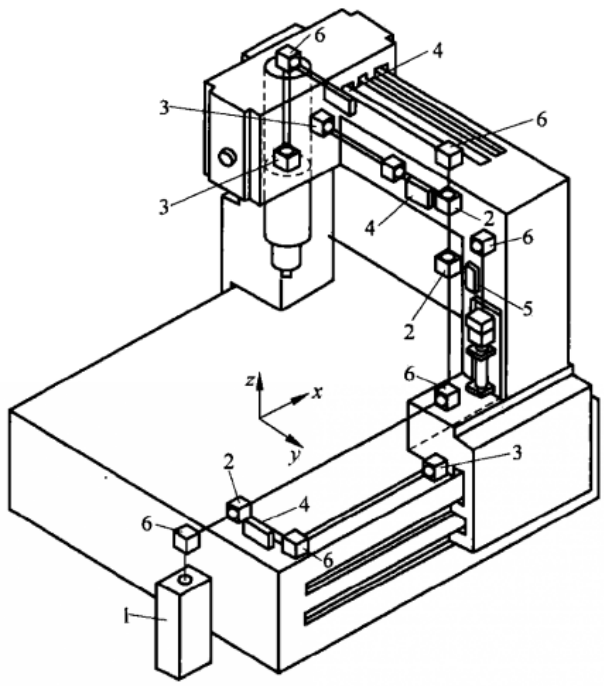


图 6.20 三坐标测量机的激光位移测量系统

1—激光器；2—分光镜；3—移动棱镜；4—接收器；5—参考基准；6—45°反射镜

激光测径仪是一种非接触式测量装置，常用于温度高或振动大等恶劣条件下的生产线上随机测量工件外径尺寸偏差。激光测径仪的组成包括光学机械系统和电路系统两部分。其中光学机械系统由激光电源、氦氖激光器、同步电动机、多面棱镜及多种形式的透镜和光电转换

器件组成，电路系统主要由整形放大、脉冲合成、填充计数、微型计算机、显示器和电源等组成。

激光测径仪的工作原理如图 6.21 所示。氦氖激光器发出的光束经平面反射镜 L_1、L_2 射到安装在同步电动机 M 转轴处的多面棱镜 W 上。当棱镜由同步电动机 M 带动旋转之后，激光束就成为通过 L_3 焦点的一个扫描光束。这个扫描光束通过透镜之后，形成一束平行运动的平行扫描光束。平行扫描光束经透镜 L_5 以后，聚焦到光电二极管 V 上。如果在 L_4、L_5 中间没有被测的工件，光电二极管的接受信号将是一个方波脉冲，如图 6.22(a)所示。图中脉冲宽度 T 取决于同步电动机转速、透镜 L_4 的焦距大小及多面体结构。如果在 L_4、L_5 间有被测件 D，则光电二极管 V 上的信号波形如图 6.22(b)所示。图中脉冲宽度 T' 与被测件 D 的直径大小成正比，T' 也就是光束扫描移动这段距离 d 所用的时间。

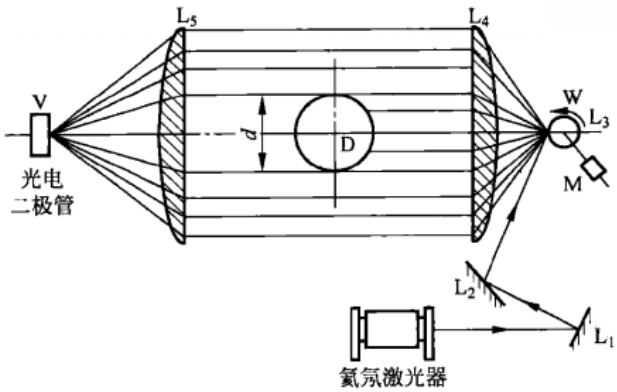


图 6.21 激光测径仪原理图

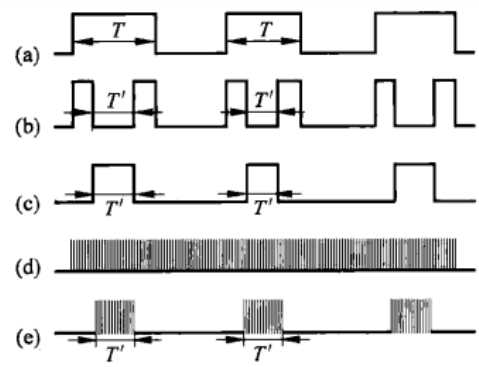


图 6.22 脉冲信号

为了保证测量精度，采用石英晶体振荡器作填充脉冲。图 6.22(d)为填充脉冲波形图，图 6.22(c)、(d)经过与门合成的波形如图 6.22(e)所示。一个填充脉冲所代表的当量为测试装置的分辨率。将图 6.22(e)的一组脉冲数乘以当量就可以得出被测直径 d 的大小。

6.3 装配系统的自动检测

自动装配工艺必须设置相应的检测工位。通过自动检测工作头，将检测结果经过放大或直接传给控制系统，由控制系统对装配过程进行诊断和故障处理，保证装配质量和保护各种装配装置安全作业。

6.3.1 确定必要的自动检测工序

由于自动装配过程中的作业类型繁多，首先应确定必要的自动检测项目及其顺序。装配作业的检测有尺寸、间隙、位置、密封及连接等检测项目，自动给料和自动传送也需要设置自动检测。一般情况下，装配件是否缺件、就位及其位置是否合乎要求都是必要的检测项目，此外还有装配件夹持质量的自动检测。图 6.23 所示为两个装配件进行铆接的回转式自动装配线，共有 8 个装配工位(Ⅰ～Ⅷ)，装配顺序为逆时针方向。零件 A 为装配基础件。在装配工位Ⅰ就位前，先经缺件检测工作头 2 自动检测装配件 A 是否就位，随后传送至装配工位Ⅱ进行工作位置检测。装配工位Ⅲ为装配件 B 就位。在就位前要经料槽中间光电检测装配件 15 和料槽终端检测装配件 13 检测，然后在装配工位Ⅳ上自动检测装配件 B 的

位置。在装配工位Ⅴ上，用自动铆接装配工作头10将装配件B与装配件A铆接，再在装配工位Ⅵ上自动检测铆接尺寸。在工位Ⅶ上将不合格装配部件排出，而在装配工位Ⅷ还要对不合格装配件是否排出进行自动检测。至此完成一个装配工作循环。在此期间，两个装配件A和B共经过7个自动检测工作头，以保证装配过程的质量。

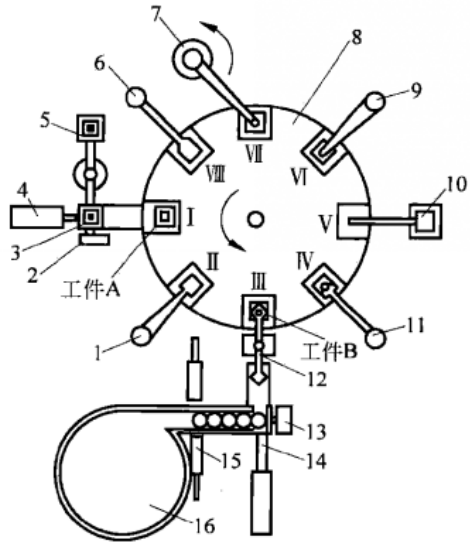


图 6.23 自动检测项目及其位置的设置

1—装配件A位置检测；2—装配件A就位缺件检测；3—装配件A料仓；4—装配件A供料器；5—储料器；6—不合格部件排出测检；7—排出装置；8—回转式装配传送装置；9—铆接尺寸检测；10—自动铆接装配工作头；11—装配件B位置检测；12—装配件B供料器；13—装配件B料槽终端检测；14—装配件B隔料器；15—装配件B料槽中间检测；16—装配件B料斗

6.3.2 自动检测方法

针对装配中常用自动检测项目的特征参数及其具体要求，应选择自动检测方法及相应的传感器。进行方法和器件选择时，必须满足所检测特征参数的灵敏度要求、信号转换和传输可靠性要求。此外，还需尽量使自动检测装置不过分复杂或外形尺寸太大，考虑预留安装位置是否足以容纳，是否会造成维修困难。

(1) 装配件的给料、就位、缺件的自动检测，常用光电法、电触法和机械法，相应选用光电传感器、电触传感器和机械触杆、限位开关等。

(2) 装配件的方向和位置的自动检测，常用气动法、电触法等，相应选用气动传感器和电触传感器等。

(3) 装配件尺寸和装配间隙的自动检测，常用电感法、电容法、气动法等，相应选用电感传感器、电容传感器和气动传感器等。

(4) 装配件夹持失误的自动检测，常用真空法和机械法等，相应选用机械-气动传感器等。

(5) 装配件分送的自动检测，常用电触法、电感法、气动法和机械法等，选用与之相应的传感器。

(6) 装配后密封质量的自动检测常用气动法等。

(7) 螺纹连接件扭紧力矩的自动检测常用力矩传感器,其拧入深度常用电触传感器检测。

(8) 所检测特征参数的灵敏度要求高时,宜采用无触点检测结构;对于检测后要求控制执行机构重复动作时,检测后的输出宜用电气信号。

6.3.3 自动检测工作头

1. 装配件夹持检测工作头

装配件夹持检测工作头如图 6.24 所示。发出夹持动作信号后,压缩空气进入接管 6,推动双活塞 2,使止动夹爪 1 和检测夹爪 9 闭合,开始夹持装配件 11。当夹持正常时,检测夹爪 9 与触点螺钉 8 之间形成间隙 δ,两者之间断路;当夹持失误时,间隙 δ 消失,检测夹爪 9 上端与触点螺钉 8 接触,形成通路。通过控制回路发出报警信号或接通主令开关使夹持动作重复。调整检测夹爪 9 与触点螺钉 8 之间的间隙 δ,可以检测不同尺寸装配件的夹持是否失误。

2. 缺件检测工作头

图 6.25 为应用光电法自动检测钢球缺件的工作头。图中检查棒前端的直径比需要装入的三个均布钢球的内接圆直径略大,所以当缺少一个钢球时,检查棒就能通过。图中示出缺件时检查棒的位置 4 和正常工作时检查棒的位置 3。检查棒可由汽缸通过弹簧推入装配部件中。由图 6.25 可以看出,应用光电法自动检测时,只需测出检查棒在垂直方向的位置,即可确知是否缺件。

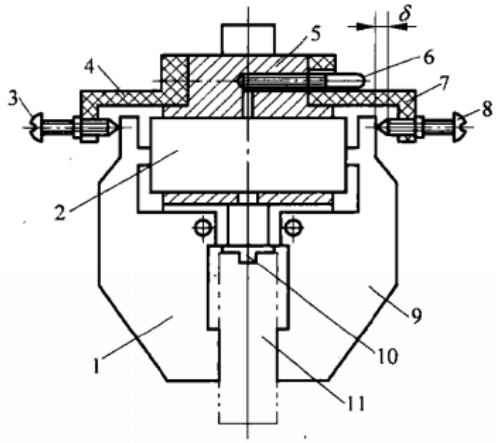


图 6.24 装配件夹持检测工作头

1—止动夹爪;2—双活塞;3—调节螺钉;4、7—绝缘体;5—工作头本体;6—接管;8—触点螺钉;9—检测夹爪;10—导销;11—装配件

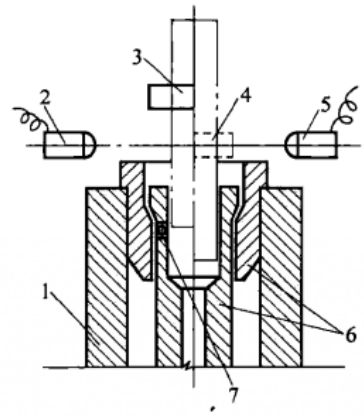


图 6.25 钢球缺件检测工作头

1—装配夹具;2—发光器;3—检查棒正常位置;4—缺件时检查棒位置;5—检查棒受光器;6—套筒;7—装配件钢球

3. 轴承方向检测工作头

在轴承自动装配线上,往往需要检测轴承的正反向,以保证装配质量。用料仓供料时,需注意将轴承有防尘盖的一面朝下。为防止将轴承的正反面弄错,一般宜在料仓出

口进行检测。图 6.26 为轴承方向检测工作头，由气动法自动检测轴承的正反向。图中轴承 3 为装配件，用五工位旋转式料仓 6 供料仓出口处的轴承落在挡板 2 上，旋臂式送料器 4 的旋臂两端都有弹性夹爪，旋臂每转一次，夹取一个轴承，并将其送到装配工位。同时，另一端的夹爪张开在出口下面，等待下一个轴承落在挡板上。在挡板上固定设置测量喷嘴 1。因此，当轴承落在挡板 2 上面时，与测量喷嘴 1 之间形成的间隙大小因轴承有防尘盖一面与无防尘盖一面的差别而有所不同，这会引起气压变化，可通过压差式继电器发出检测信号。

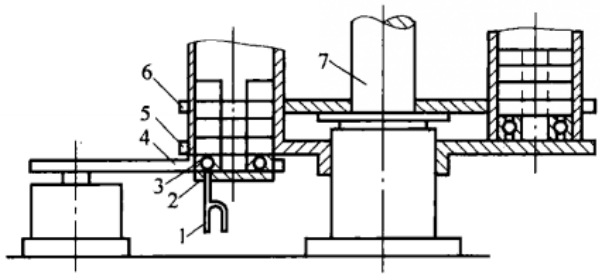


图 6.26 轴承方向检测工作头

1—测量喷嘴；2—挡板；3—轴承；4—旋臂式送料器；5—支承板；6—五工位旋转式料仓；7—料仓支柱

6.3.4 不合格装配件的处理方式

自动检测后对不合格装配件的处理方式将影响装配自动化程度。一般有以下 4 种处理方式。

1. 紧急停机

当出现连续性废品或随机故障不能自行排除时，输出信号控制回路执行紧急停机命令，在显示器上显示故障部位或报警后，由人工排除故障。对于回转式工作台必须增设制动器，以防止断电后因惯性作用而继续旋转。

2. 剔除不合格装配件

有两种措施可剔除不合格装配件：一种是在检后工位设置废品记忆，后续工序停止装配，终端剔除；另一种是在下一个工位上设置附加的排出口，将不合格装配件直接剔除。

3. 重复动作

这是一种积极的处理方式。例如夹持装置抓取装配件，如果经自动检测后发现夹持动作已失误，但并没有发出抓取完成的信号，则根据重复动作的处理方式，使装配件重复进行给料动作，并且将这次失误信号送入记忆装置，指令不再重复，在下一个装配工位或下一循环的原工位上重复进行夹持动作。

4. 修正动作

修正动作处理方式是通过自动检测后的输出信号，控制设置在检测工位上的修正动作机构，使之纠正装配失误动作，并再行检测确认。采用修正动作处理方式往往使自动检测装置和控制回路复杂，多数用于因装配工序失误后调整工作量大的装配工位，或导致自动装配装置损坏的关键性装配工位。

6.4 分拣机构

6.4.1 概述

1. 自动分拣系统的意义

分拣是指为进行输送、配送，把很多物料按不同品种、不同地点和不同单位分配到所设置的场地的一种物料搬运过程，也是一种物品从集中到分散的处理过程。物料分拣的关键是对物品去向的识别、识别信息的处理和物品的分流搬运处理。

按分拣的手段不同，可将其分为人工分拣、机械分拣和自动分拣3大类。人工分拣的主要缺点是劳动量大、效率低、差错率高。机械分拣是以机械为主要输送工具，在各分拣位置配备的作业人员看到标签、色标、编号等分拣的标志，便把物料取出。也有在箱式托盘中放入分拣的物料，用叉车等机械移动箱式托盘，用人力把物料放到分拣的位置，或在利用箱式托盘进行分配。自动分拣输送系统通过货物的输送、升降、积放、检测、分发等功能，可实现货物从入库区域到不同存储区域，以及从不同存储区域到自动分拣系统的自动输送。自动分拣系统则按照发货路径或分类方法实现自动分发、自动分拣等功能。自动分拣系统应用于迅速、正确分拣大量物料的情况，现代大型分拣系统的分拣速度可达每小时几万件。分拣技术应用范围越来越广，已经成为物流传输系统，尤其是配送系统的重要组成部分。同时，在现代生产制造系统中，作为构成物料传输系统的一环，分拣技术也日益受到重视。

在传统的物料分拣系统中，一般使用纸制书面文件记录物料数据，包括物料名称、数量、规格型号、批号、存储货位等信息，等到物料提取时，再根据书面的提货通知单，查找记录的物料数据，人工查找物料货位、搬运物料来完成物料的提取。在这样的物料分拣系统中，大部分工作靠人力手工完成，严重影响物料的传输效率。随着竞争的加剧，人们对物料的流动速度要求越来越高，这样的物料分拣系统已远远不能满足现代传输系统和物流管理的需要。

因此，建立一个先进的、自动化的分拣系统，对配送中心来说是至关重要的，除了可大大提高工作效率、显著降低工人的劳动强度外，还具有如下意义：

① 完全摒弃了使用书面文件完成物料分拣的传统方法，采用高效、准确的电子数据形式，提高效率，节省人力，向无纸化方向迈进。

② 不但可快速地完成简单订货的提取，而且可以方便地根据货物的尺寸、配送速度要求、装卸要求等实现物料的存取。

③ 分拣工人只需简单的操作就可实现物料的自动进货、出库、包装装卸等作业，降低了工人的劳动强度，提高效率。

④ 结合必要的仓库管理软件，可以真正实现配送中心的现代化管理，显著提高作业效率，提高企业竞争力。

2. 配送中心的分拣方式

自动化物流配送中心有别于自动化立体仓库，是成千上万种商品大量货物的集散之地，能在较短的时间内将成千上万种商品按照不同的路径或不同的订单，从不同的存储区域拣选出来进行快速准确的分类，并将这些货物运送到指定地点。自动化物流配送中心广泛应用于医药、日用品、化妆品、卷烟、航空、港口、食品等行业。一般情况下，自动化物流配送中

心除了立体仓库存储区外，还包括拆零拣选、整箱拣选等其他存储区。

配送中心对物料流动作业的拆零需求越来越强烈，如何提高这一环节的作业效率，已成为配送中心机械化、自动化的研究重点。配送中心的主要功能要素是分拣，尽管配送中心还有保管、包装、流通加工等工艺，但这些都不反映配送中心的本质特点。分拣工艺包括拣选式和分货式两种。

(1) 拣选式工艺

拣选式工艺是拣选人员或拣选工具巡回于各个存储点，将所需的物料取出，完成物料分配的方式。它的特点是存储物料的位置相对固定，而拣选人员或拣选工具相对运动，比较灵活机动。

在电子标签拣货系统中，只要把需要的物料信息(订单)输入操作台电脑后，在存放物料的货架上的货位指示灯和品种显示器会立即显示出拣选物料在货架上的具体位置(货格)和所需数量，由人工或机械取出货架内的物料，放入输送带的托盘，配齐所需(订单)的物料的托盘由输送带送入自动分拣系统。

拣选式适用于下列场合：

① 用户不固定，变化较大，不能建立相对稳定用户分货货位，难以建立稳定的分货线。

② 用户需求的种类太多，增加共同取物料的难度。虽然增加取物料时间，但采用拣选法不易出错。

③ 用户配送时间要求不同，有紧急的，也有一定时限的，采用拣选工艺可有效地调整先后拣选配货的顺序。特别是对紧急情况，采用拣选式工艺可满足时间的需求。

(2) 分货式工艺

分货式工艺是分货人员或分货工具从存储点集中取出各个用户共同需要的物料，然后巡回于各用户的装箱位置之间，将这种物料按用户需要量分放到装箱位，再集中取出共同需要的第二种，如此反复进行，直到用户需要的所有物料都分放完毕。它的特点是用户的分货位固定，而分货人员或工具携带物料相对运动。

分货式工艺适用于以下情况：

① 用户稳定、变化不大且当用户数较多时，就可建立稳定的分货线。

② 各用户的需求有很强的共性，需求的数量可有差异但品种相同，这样集中取货分放给各用户，其效率较高。

③ 用户需求的种类有限制。

6.4.2 自动分拣系统的组成和工作过程

1. 自动分拣系统的特点

图 6.27 为自动分拣系统应用实景。自动分拣系统特点如下。

(1) 大大提高了分拣速度，且能连续、大批量地分拣物料

自动分拣系统采用大量流水线自动作业方式，分拣系统的工作不受气候、时间、人的体力因素的限制，可以连续运行，且单位时间内分拣的物料单元数多。如自动分拣系统可以连续运行 100 h 以上，每小时可分拣 7000 件物料单元，而用人工每小时只能分拣 150 件。

(2) 分拣误差率极低

自动分拣系统的分拣误差率主要取决于分拣信号的输入机制，即取决于信息采集系统

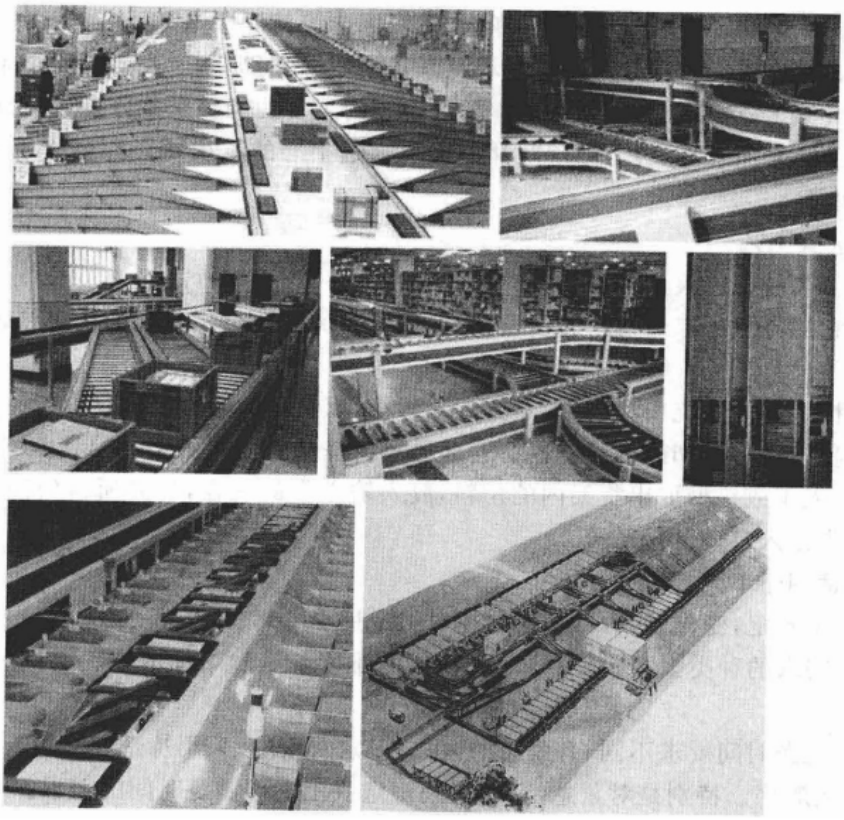


图 6.27 自动分拣系统应用实景

的可靠性和准确性。如果采用人工键盘输入或语言识别方式输入，则误差率在3%以上；而采用条形码扫描输入，其差错率仅为百万分之一，除非条形码本身有错，否则不会出错。因此，目前自动分拣系统主要采用条形码技术识别物料。

(3) 一次性投入巨大

自动分拣系统本身需要建设短则 40～50 m，长则 150～200 m 的机械传输线，还有配套的机电一体化控制系统和计算机网络及通信系统等。此外，自动分拣系统一般都建在自动化立体仓库内，这样需要建 3～4 层楼高的立体仓库，库内需要配备各种自动化的搬运设备，其投资不亚于建一个现代化工厂，且投资收回周期长。

(4) 大大减少人工，分拣作业基本实现无人化

国外建立自动化分拣系统的目的之一是减少人员数量，减轻人员的劳动强度，提高作业的效率。自动分拣系统能最大限度地减少人员的数量，基本做到无人化操作。分拣作业本身并不需要使用人员，人员的使用仅限于以下工作：

① 待分物料存放点与自动分拣系统之间的搬运；

② 人工控制分拣系统运行；

③ 分拣线末端由人工将分拣出来的物料进行配送；

④ 自动分拣系统运行的管理、维护等。

2. 自动分拣系统的总体构成

自动分拣系统一般由自动控制和计算机管理系统、自动识别装置、分类机构、主输送装

置、前处理设备及分拣道口组成，如图 6.28 所示。

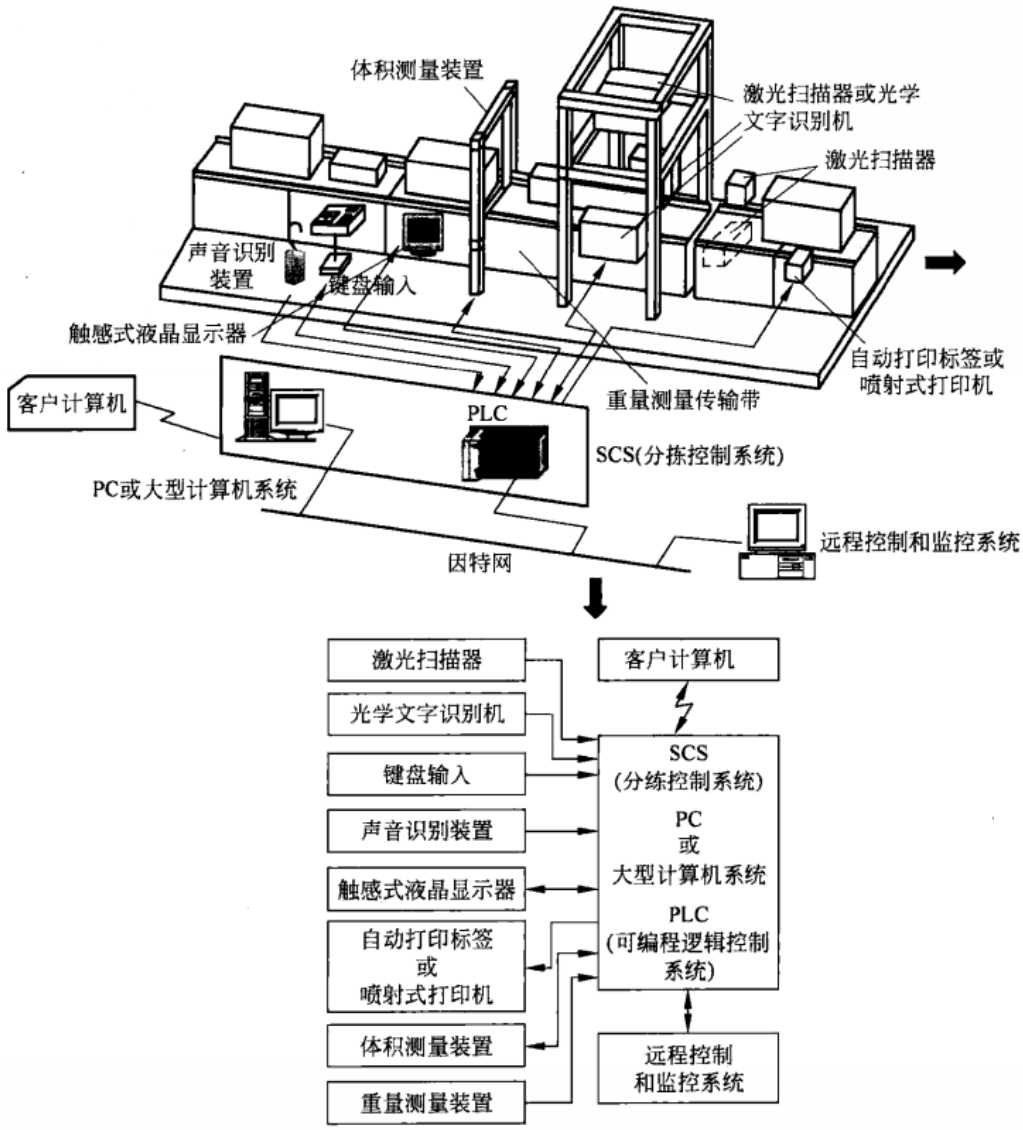


图 6.28 自动分拣系统组成图

(1) 自动控制和计算机管理系统

自动控制和计算机管理系统是整个自动分拣系统的控制指挥中心，分拣系统的各部件的一切动作均由控制系统决定，其作用是识别、接收和处理分拣信号，根据分拣信号指示分类机构按一定的规则(如品种、地点等)对物料进行自动分类，从而决定物料的流向。

分拣信号来源可通过条形码扫描、色码扫描、键盘输入、质量检测、语音识别、高度检测及形状识别等方式获取，经信息处理后，转换成相应的拣货单、入库单或电子拣货信号，自动分拣作业。

自动控制系统的主要功能如下：

① 接受分拣目的地地址，可由操作人员经键盘或按钮输入，或自动接收；

② 控制进给台，使物料按分拣机的要求迅速准确地进入分拣机；

③ 控制分拣机的分拣动作，使物料在预定的分拣口迅速准确地分离出来；

④ 完成分拣系统各种信号的检测监控和安全保护。

计算机管理系统主要对分拣系统中的各种设备运行情况数据进行记录、检测和统计，用于分拣作业的管理及分拣作业和设备的综合评价与分析。

(2) 自动识别装置

物料能够实现自动分拣的基础是系统能够对物料进行自动识别。在物流配送中心，广泛采用的自动识别系统是条形码系统和无线射频系统。条码自动识别系统的光电扫描器安装在分拣机的不同位置，当物料在扫描器可见范围时，自动读取物料包装上的条码信息，经过译码软件即可翻译成条码所表示的物料信息，同时感知物料在分拣机上的位置信息，这些信息自动传输到后台计算机管理系统。

(3) 分类机构

分类机构是指将自动识别后的物料引入到分拣机主输送线，然后通过分类机构把物料分流到指定的位置。分类机构是分拣系统的核心设备。分类的依据主要有：

① 物料的形状、质量、特性等；

② 用户、订单和目的地。

当计算机管理系统接收到自动识别系统传来的物料信息以后，经过系统分析处理，给物料产生一个目的位置，于是控制系统向分类机构发出控制指令，分类机构接受并执行控制系统发来的分拣指令并在恰当的时刻产生分拣动作，使物料进入相应的分拣道口。由于不同行业、不同部门对分拣系统的尺寸、质量、外形等要求都有很大的差别，对分拣方式、分拣速度、分拣口的数量等的要求也不尽相同，因此分类机构的种类很多，可根据实际情况，采用不同的前处理设备和分拣道口。图 6.29 所示是侧推式分类机构，由侧推汽缸直接推动物料，强制物料离开主输送线而进入分流输送线。图 6.30 所示为旋转挡臂式分类机构。当物料到达分流输送线时，旋转挡臂自动旋转将物料引入分流线。图 6.31 所示为轮子浮动式分类机构。当分类物料进入浮动轮子的上方时，高速旋转的浮动轮子迅速上浮，把来自主输送线上的物料抬起来，在浮动轮子的引导下进入分流输送线上，从而达到分类目的。

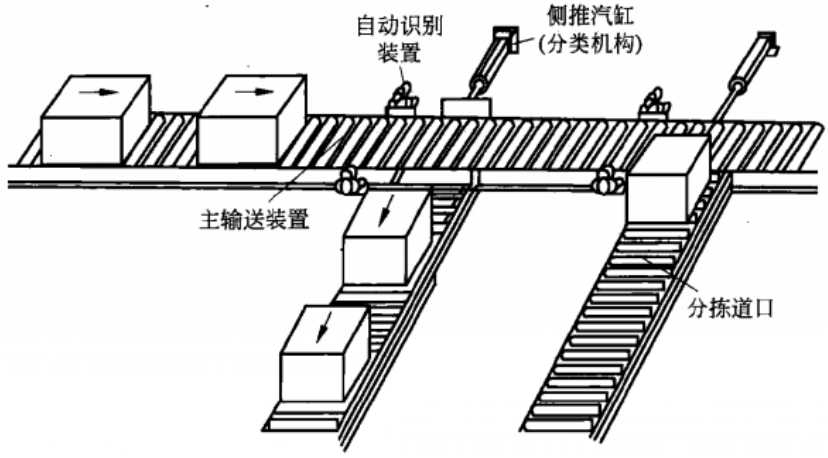


图 6.29 汽缸侧推式分类机构

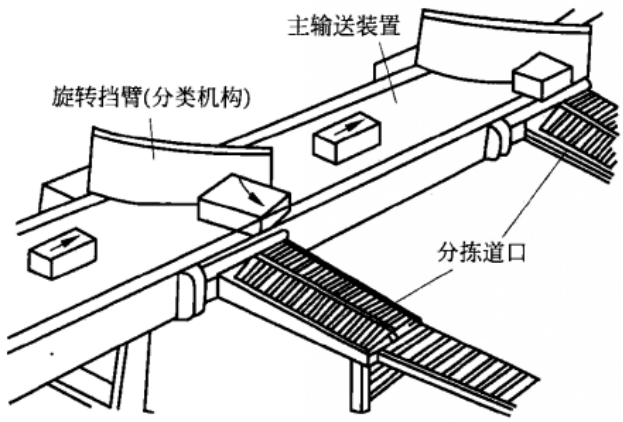


图 6.30 旋转挡臂式分类机构

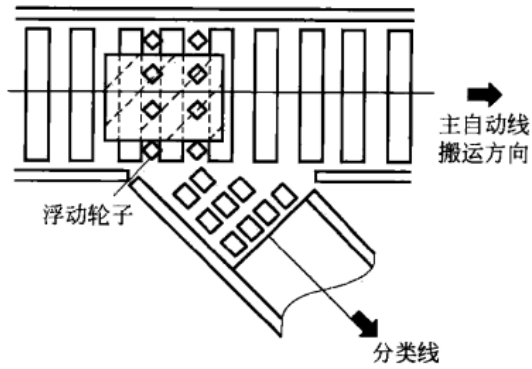


图 6.31 轮子浮动式分类机构

(4) 主输送装置

主输送装置的作用是将物料输送到相应的分拣道口,以便进行后续作业,主要由各类输送机构成,又称主输送线。

(5) 前处理设备

前处理设备是指分拣系统向主输送装置输送分拣物料的进给台及其他辅助性的运输机和作业台等。进给台的功能有两个:一是操作人员利用输入装置将各个分拣物料的目的地址送入分拣系统,作为该物料的分拣作业指令;二是控制分拣物料进入主输送装置的时间和速度,保证分类机构能准确地进行分拣。

(6) 分拣道口

分拣道口也称分流输送线,是将物料脱离主输送线使之进入相应集货区的通道,一般由钢带、传送带、滚筒等组成滑道,使物料从输送装置滑向缓冲工作台,然后进行入库上架作业或配货作业。

上述 6 个主要部分在控制系统的统一控制下,分别完成不同的功能,各机构间协同作业,构成一个有机系统,完成物料的自动分拣过程。

3. 分拣系统的工作过程

一个分拣系统是由一系列各种类型的输送机、附加设施和控制系统组成,大致可分为合

流、分拣信号输入、分流和分运 4 个阶段。

(1) 合流

按拣选指令从不同货位拣选出来的物料，通过一定的方式送入前处理设备，并由前处理设备汇集到主输送线上，这一过程称为合流。

(2) 分拣信号输入

到达主输送线上的物料，通过自动识别装置(如条码扫描器等)读入物料的基本信息，由计算机对读入的物料信息进行相应的处理，这一过程称为分拣信号输入。

(3) 分流

物料信息被读入计算机系统后，在主输送线上继续移动，分拣系统实时检测物料移动的位置。当物料到达相应的分拣道口时，控制系统向分类机构发出分拣的指令，分类机构立刻产生相应的动作，使物料进入相应的分拣道口，这一过程称为分流。

(4) 分运

进入分拣道口的物料最终到达分拣系统的终端，由人工或机械搬运工具被分运到相应的区域。

图 6.32 是信函自动分拣系统，是一种比较复杂的自动分拣系统。由于信函是一种特殊的物料，特点是数量大，目的地址遍布全球各地，因此要求分拣口特别多；另外，信函上的信息因个人笔迹的不同，信函的厚薄不均，所以其自动分拣系统的构成较为复杂，一般应包括理信机、标码机、粗分机和细分机等子系统。

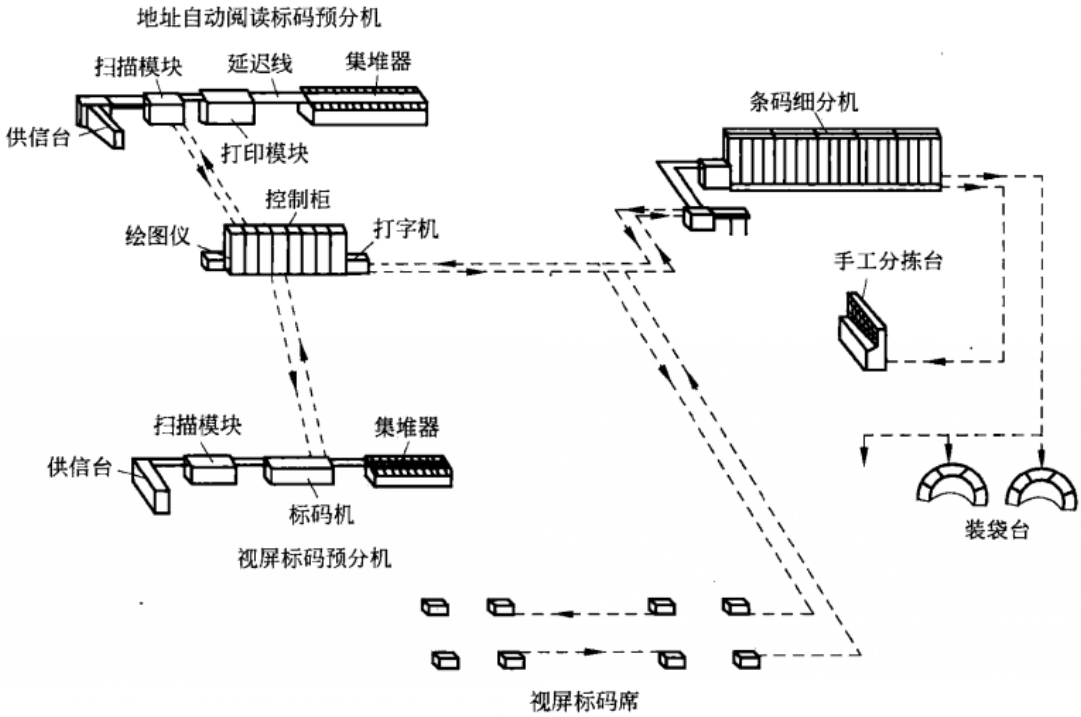


图 6.32 信函自动分拣系统

所有汇集到分拣中心的信函首先必须经过理信机。它的作用是按有框有码、有框无码、无框无码等进行分类整理，盖销邮票，拣出不能自动分拣的信函等。理信机处理速度一般在

每小时 20 000 封以上，出错率小于 0.5%。

经过理信机的信函，在进入自动分拣机之前要进行标码。标码机的作用就是将信函上的信息打印成分拣机能识别的条码。标码方法有手工标码和自动标码之分。手工标码又分为传统标码（即设置多个标码席，由标码员直接读取信函上的信息并按键输入，打印机打印出相应的条码）和视屏标码（即标码席不设在生产现场而设在一特殊的标码室内，信函通过供信装置供人，标码员从显示屏上阅读信息后按键输入，喷印机即在信上喷印条码）。自动标码是采用地址自动阅读标码预分机，其识别率受信函书写质量和物理性能影响很大，平均标码率在 76%左右。

粗分机将信函先按较大的区域进行分类，以便于细分机工作。一般细分的集堆器（即存放已分好的信函的容器）最多达 18 个。

细分机将已粗分的信函进行再一次分类。细分机的分类口最多可达到 200 个，最大处理速度约为每小时 30 000 件。

6.5 各种分拣机械

分拣机械有许多不同的形式，为了取得最为有效的应用，一般需要物料包装的大小、重量、分拣能力、包装形式，物料在输送机上的位置、方位，物料特性、操作环境等信息。为了提高分拣能力，分拣机械向高速化、高准确率方向发展。图 6.33 所示是分拣机的分类。

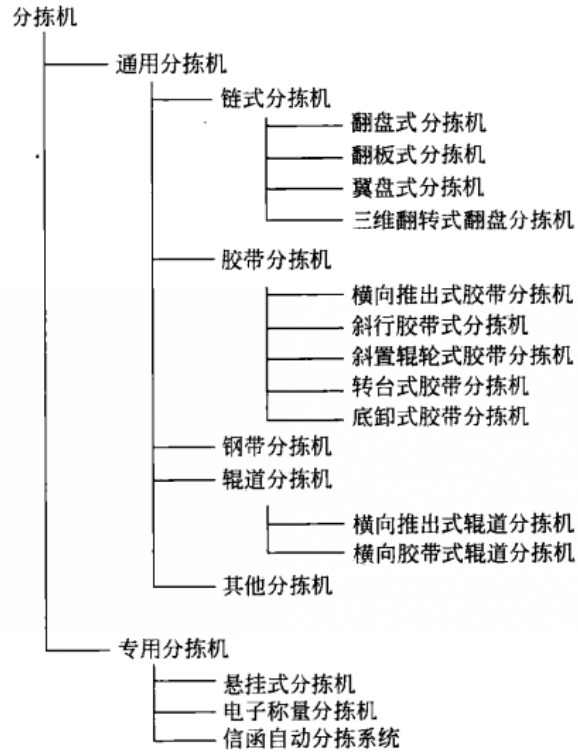


图 6.33 分拣机的分类

6.5.1 链式分拣机

1. 翻盘式分拣机

翻盘式分拣机是链式分拣机的主要机型，其结构如图 6.34 所示。它是在一条沿分拣机全长的封闭环形导轨中设置一条驱动链条，并在驱动链条上安装一系列载货托盘。将货物放在载货托盘上输送，当输送到预定分拣道口时，倾翻机构使托盘向左或向右倾斜，货物滑落到侧面的分拣道口（分流输送线）中，从而达到分拣的目的。

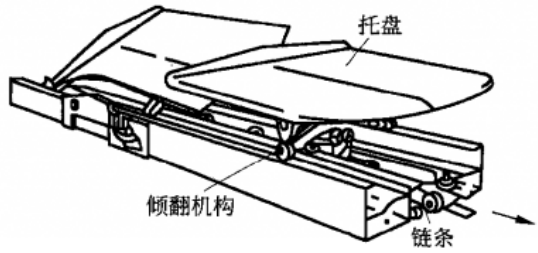


图 6.34 翻盘式分拣机

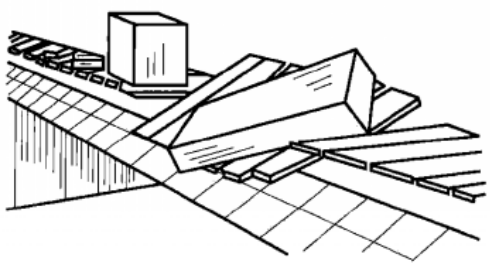
翻盘式分拣机各托盘之间的间隔很小，而且可以左右两个方向倾翻，所以这种分拣机可设很多分拣道口。为减轻商品倾倒时的冲击力，有的分拣机能控制商品以抛物线轨迹抛出。由于驱动链条可以在上下和左右几个方向弯曲，因此，这种分拣机可以在各个楼层之间沿空间封闭曲线布置，总体布置方便灵活。对于长形商品，可以跨越两只盘子放置，倾倒时两只盘子同时倾斜。翻盘式分拣机货物的最大尺寸和质量受托盘的限制，但对货物的形状、包装材质等适应性好，适用于要求在短时间内大量分拣小型物品的系统。

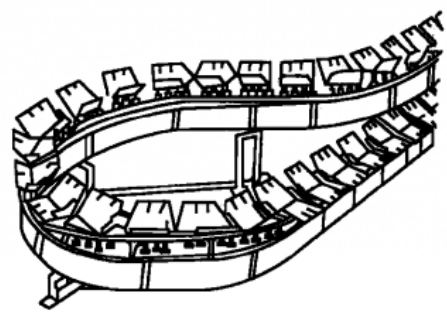
2. 翻板式分拣机

翻板式分拣机的结构与翻盘式分拣机基本相同，只是将承载托盘做成没有边缘的平板型，如图 6.35 所示。翻板式分拣机的板与板之间的间隙较小，体积小的货物只占用一块板，体积大的货物可占用两块甚至三块板。分拣时承载同一货物的板一同翻转。这种分拣机打破了托盘之间的界限，提高了对大型货物分拣的适用性。但控制系统比较复杂。

3. 翼盘式分拣机

翼盘式分拣机的托盘由像鸟翼样的两块板组成，中间用铰链连接，如图 6.36 所示。平时，翼盘成 V 字形，货物承载其中；分拣时，两块翼板分别向左右翻转，使货物落入分拣道口。这种分拣机可以分拣易滚动的货物（如圆柱形）。


图 6.35 翻板式分拣机


图 6.36 翼盘式分拣机

4. 三维翻转式翻盘分拣机

三维翻转式翻盘分拣机的结构如图 6.37 所示，它与普通翻盘式分拣机的区别在于其倾翻机构比较特殊，它能在托盘倾翻的同时还可沿垂直轴旋转 90°，使长形货物沿其长度方向滑入分拣道口，这样可以减少分拣口之间的距离，增加分拣口的数目。这种翻转方式还能减缓货物下落的速度，以减轻对货物的冲击。

6.5.2 胶带分拣机

由于胶带（或塑料带、帆布带等）分拣机具有结构简单、价格便宜、技术成熟等优点，因而采用以胶带输送机为主机的分拣机已发展了较多品种。

1. 横向推出式胶带分拣机

横向推出式胶带分拣机的结构与钢带分拣机基本相同，只是用胶带输送机代替了钢带输送机。由于货物与胶带之间的粘着力较大，因此能够分拣的货物质量和包装形式受到了一定的限制。

2. 斜行胶带式分拣机

斜行胶带式分拣机是将胶带输送机向左侧或右侧倾斜，使胶带平面与水平面形成约 30°倾角。另用一条不动的钢壁板与胶带平面组成一个夹角约为 90°的 V 形槽，其结构如图 6.38 所示。货物在 V 形槽内被胶带拖动沿着钢制壁板滑行，壁板上设置若干可以向下翻转的挡板。当货物滑行到预定的挡板处时，挡板向下翻开，货物滑落到对应的分拣道口中，从而达到分拣的目的。



图 6.37 三维翻转式翻盘分拣机

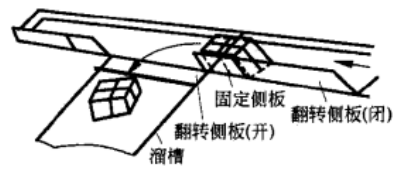


图 6.38 斜行胶带式分拣机

斜行胶带式分拣机克服了横向推出式胶带分拣机推出较困难的缺点。其不足处是：表面有突出物的货物有可能被卡在挡板接缝处；重心偏向壁板的货物易在胶带上打滑而影响分拣作业的正常进行。

3. 斜置辊轮式胶带分拣机

在分拣口处，用托辊使胶带改向，形成一个下凹的 U 形槽，如图 6.39 所示。在 U 形槽内，安装了一排轴线可以向左右偏转 45°的辊轮。平时，辊轮轴线与胶带运行方向垂直，并处在输送平面以下。货物可以从 U 形槽上面越过。分拣时，斜置辊轮轴线向左（或向右）偏转 45°，并上升至与输送平面等高度，使货物被辊轮拖动从侧面脱离胶带输送机滑入分拣道口。这种分拣机不适合分拣体积较

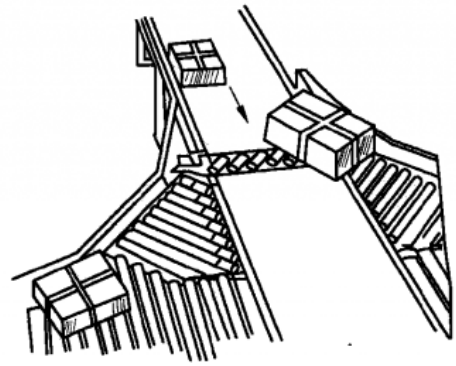


图 6.39 斜置辊轮式胶带分拣机

小的物品，而太大的物品会卡在U形槽内或斜置辊轮中。

由斜置辊轮分隔的各段胶带输送机也可以由多台独立驱动的短胶带输送机连成一线组成。这样虽增加了驱动装置（电动滚筒）的数目，但可减少胶带弯曲的次数，延长胶带使用寿命。

4. 转台式胶带分拣机

转台式胶带分拣机是由多段独立驱动的胶带输送机连成一线组成，处于分拣口处的短胶带输送机装在可以沿垂直轴旋转的转台上（见图6.40）。当货物到达预定的分拣口时，转台连同短胶带输送机向左（或向右）旋转45°，货物即可从侧面送出，滑入分拣道口。

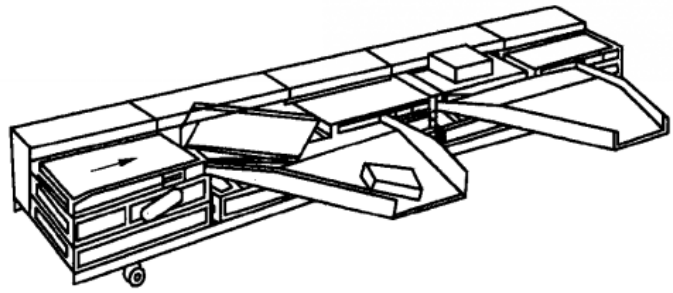


图6.40 转台式胶带分拣机

5. 底卸式胶带分拣机

底卸式胶带分拣机也是由多段独立驱动的短胶带输送机连成一线组成，其结构如图6.41所示。分拣时，短胶带机向上仰起约30°角，使胶带机在分拣口处形成一个缺口，货物即从缺口处滑落到下面对应的分拣道口。

6.5.3 钢带分拣机

钢带分拣机的组成如图6.42所示。它是在钢带输送机上装有若干个横向推出装置，对应每个推出装置处均设一个分拣道口。当货物到达预定分拣口时，横向推出装置拨动货物，使其从钢带输送机的侧面滑出落入对应的分拣道口中。

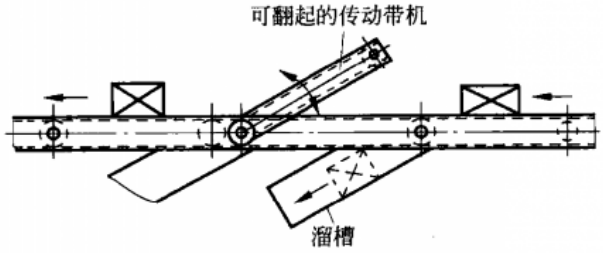


图6.41 底卸式胶带分拣机

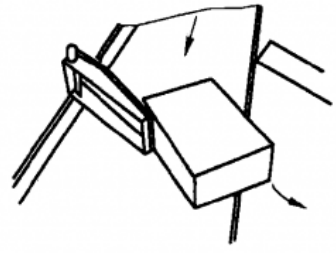


图6.42 钢带分拣机

钢带分拣机采用表面光滑的钢带，因钢带与货物之间的摩擦系数较小，对货物的适应性较好，可不受纸箱、木箱、袋装等包装形式的限制。由于钢带运行速度高（可达120 m/min），因此分拣速度快，分拣量可达每小时万件以上。钢带分拣机对钢带的材质要求较高，对钢带及其接头的工艺处理要求也较严格。钢带分拣机工作时对货物有一定的冲击，太薄的物品、容易滚动的物品、易碎的物品不宜采用，另外，当钢带分拣机设计速度较高时，分拣口不能设

计得太密，即分拣口的数目一般比较少。

钢带分拣机的横向推出装置通常采用电动或气动挡板，其动作速度及角度要适当，以便能迅速准确地将货物横向推出。为了尽量减少对货物的冲击，有时将挡板做成折线形或分成两段，以实现“柔性分拣”的目的。

6.5.4 辊道分拣机

1. 横向推出式辊道分拣机

横向推出式辊道分拣机以辊道输送机为主体，在分拣口处的辊子间隙中安装了一系列由链条拖动的细长导板，其组成如图 6.43 所示。平时导板位于辊边的侧面排成一直线，不影响货物的运行。分拣时，导板沿辊子的间隙移动，逐步将货物推向侧面，进入分拣道口。分拣道口也采用辊道。这种分拣机分拣动作比较柔和，适用于分拣易翻倒或易碎物品。



图 6.43 横向推出式辊道分拣机

2. 横向胶带式辊道分拣机

横向胶带式辊道分拣机以辊道输送机为主体，在分拣口处的辊子间隙中，安装与辊道运行方向垂直运行的窄胶带，其组成如图 6.44 所示。平时横向窄胶带的承载面低于辊道的承载面。货物可以通过分拣口直行。分拣时，横向胶带上升至高出辊道的承载面，托起货物，并使其侧面运行滑入分拣道口，达到分拣的目的。

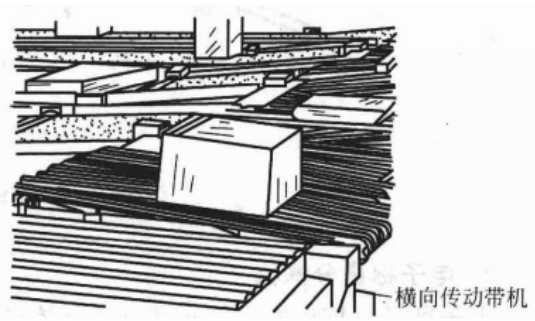


图 6.44 横向胶带式辊道分拣机

6.5.5 专用分拣机

由于技术进步和生产发展的需要，各种新型分拣机不断出现，除了对原有机型的改进外，还开发出许多结构特殊、适用于特定货物分拣的专用分拣机。

1. 悬挂式分拣机

悬挂式分拣机以悬挂式输送机为运输货物的主体，配以相应的分拣机构。在吊挂状态下进行物品分拣，其特点是运输和分拣相结合。图 6.45 所示为服装分拣系统。在比较高的

位置上设置一条钢丝绳牵引的悬挂式输送机，载货小车下面装有挂钩，被分拣的服装利用衣架挂在挂钩上，每个挂钩运行到预定的分拣口时，自动脱钩装置使衣架脱离挂钩，滑到另一条支线上，达到分拣的目的。图 6.46 所示为悬挂式吊盘分拣系统，当吊盘运行到预定的分拣口时，翻盘使物品进入分拣道口，达到分拣的目的。

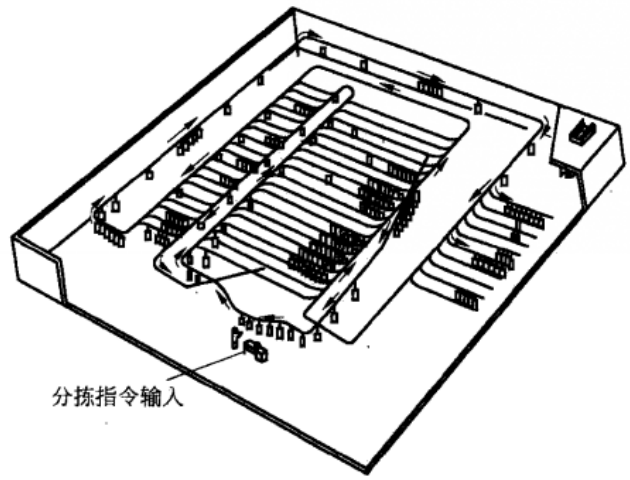


图 6.45 悬挂式分拣机

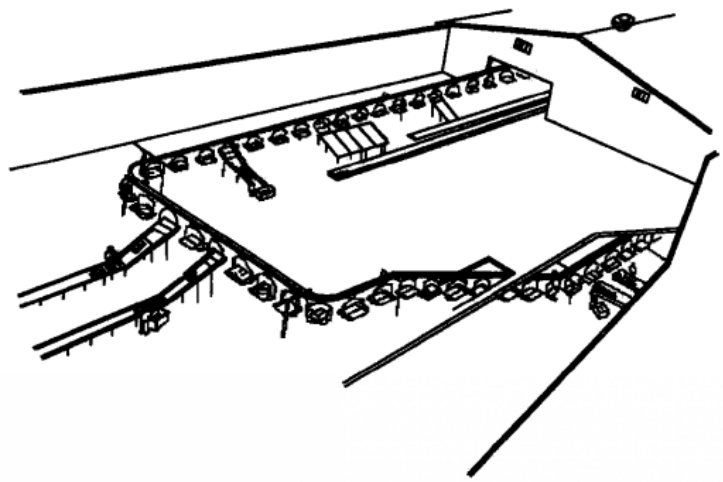


图 6.46 悬挂式吊盘分拣系统

2. 电子称量分拣机

电子秤量分拣机的结构和翻盘式分拣机相同，但不是根据设定的分拣口地址进行分拣，而是根据设置在托盘下的电子秤自动测量出货物的质量，按货物质量将一定质量范围内的货物分拣到同一个分拣道口。这种分拣机用于将鱼类、家禽、家畜等农畜产品按质量分等分类的作业，具有自动化程度高、效率高的优点。

3. 信函自动分拣系统

邮政信函自动分拣系统比较复杂。信函自动分拣系统是由于信函是一种特殊的物品，它的特点是数量大。



自动化立体仓库

7.1 自动化立体仓库的特点及分类

7.1.1 自动化立体仓库的特点

自动化立体仓库系统(automated storage and retrieval system,AS/RS)是在不直接进行人工处理的情况下能自动地存储和取出物料的系统。自动化立体仓库是物流的重要组成部分。例如,生产物流是从原材料采购开始,经过基本制造过程的转换活动,到最后形成具有一定使用价值的成品运到成品库或用户。物料经历着由原材料从厂外采购运进、入库验收、存放、加工制造,进入成品库以及成品外运等一系列物料实体运送的动态流转过程。这其中无不包含仓储环节。自动化立体仓库技术集规划、管理、机械、电气于一体,是一门学科交叉的综合性技术。使用自动化立体仓库能够产生巨大的社会效益和经济效益。效益主要来自以下几方面。

(1) 采用高层货架存储,提高了空间利用率及货物管理质量

由于使用高层货架存储货物,存储区可以大幅度地向高空发展,充分利用仓库地面和空间,因此节省了库存占地面积,提高了空间利用率。目前世界上最高的立体仓库高度已达50 m。立体仓库单位面积的储存量可达 7.5 t/m^2,是普通仓库的 5～10 倍。采用高层货架储存,并结合计算机管理,可以容易地实现先入先出(first in and first out,FIFO),防止货物的自然老化、变质、生锈或发霉。立体仓库也便于防止货物的丢失及损坏,对于防火防盗等大有好处。集装箱化的存储也利于防止货物搬运过程中的破损。

(2) 自动存取,提高了劳动生产率,降低劳动强度

AS/RS 使用机械和自动化设备,运行和处理速度快,提高了劳动生产率,降低操作人员的劳动强度。同时,能方便地纳入企业的物流系统,使企业物流更趋合理化。采用自动化技术后,还能较好地适应黑暗、低温、污染、有毒、易爆等特殊场合的物品存储需要。例如国内已有的冷冻物品自动化立体仓库和存储胶片的自动化立体仓库,在低温和完全黑暗的库房内,由计算机自动控制,实现货物的出入库作业,从而改善了工作环境,保证了安全操作,促进文明生产。

(3) 科学储备,提高物料调节水平,加快储备资金周转

由于自动化立体仓库采用计算机控制,对各种信息进行存储和管理,能减少货物处理和信息处理过程中的差错,而人工管理则不能做到这一点。同时借助于计算机管理还能有效

地利用仓库储存能力，便于清点和盘库，合理减少库存，加快储备资金周转，节约流动资金，从而提高仓库的管理水平。如某汽车厂的仓库，在采用自动化立体仓库后，库存物资金额比过去降低了50%，节约资金数百万元。

(4) 有效地衔接生产与库存，加快物资周转，降低成本

作为生产过程的中间环节，它应具有原材料在制品和成品的缓冲存储功能。在自动化和机械化设备处理下，自动化程度提高，各种物料库存周期缩短，从而降低了总成本。对不同运输方式(如输送线运输、小车运输、悬挂运输等)、不同装运方式(如集装、散装、原包装等)、不同状态的物料(如块状、粉末状、液体等)衔接、改变运输方式、改变装运方式和采用有效的技术，都会带来费用的降低。

(5) 适当加工，衔接产需，合理利用资源，提高效益

许多仓库或多或少地承担一些加工任务，如为存储进行的组装、出货前的包装等。它可以提高原材料利用率、方便用户、提高加工效率和设备利用率，充分发挥各种输送手段的最高效率。通过存储环节，能把生产与需要有机地结合起来，减少生产的盲目性，充分利用已有的资源。因此，提高了对市场变化的反应能力，减少损失，易于在激烈的市场竞争中获胜。

(6) 为企业的生产指挥和决策提供有效的依据

自动化立体仓库的信息系统可以与企业的生产信息系统集成，实现企业信息管理的自动化。同时，由于使用自动化立体仓库，促进企业的科学管理，减少了浪费，保证均衡生产。自动化立体仓库往往也是企业信息系统的重要环节，企业的领导者根据库存信息制订相应的战略和计划，指挥、监测和调整企业的行动。由于仓储信息管理及时准确，便于企业领导随时掌握库存情况，根据生产及市场情况及时对企业规划做出调整，提高了生产的应变能力和决策能力。由于使用自动化立体仓库，会带动企业其他部门人员素质的提高，还有其他间接的社会效益，如提高装卸速度等。

7.1.2 自动化立体仓库的分类

自动化立体仓库是一个复杂的综合自动化系统，作为一种特定的仓库形式，一般有以下几种分类方式。

1) 按建筑形式可以分为整体式和分离式(见图7.1)

(1) 整体式

整体式是指货架除了储存货物以外，还可以作为建筑物的支承结构，就像是建筑物的一

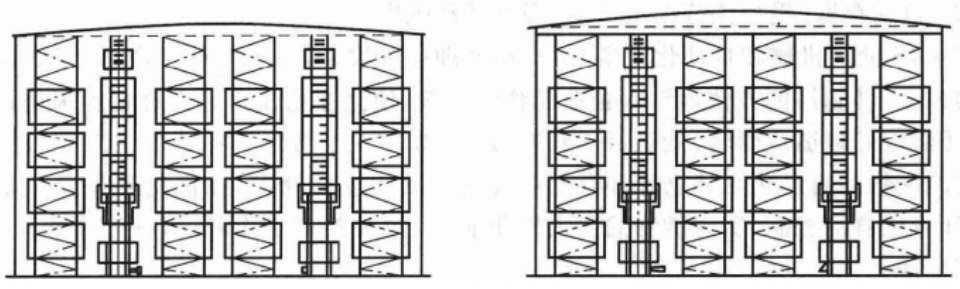


图7.1 整体式与分离式仓库示意图

(a) 整体式；(b) 分离式

部分，即库房与货架形成一体化结构。

(2) 分离式

分离式是指储存货物的货架独立存在，建在建筑物内部。它可以将现有的建筑物改造为自动化立体仓库，也可以将货架拆除，使建筑物用于其他目的。

2) 按货物存取形式可以分为单元货架式、移动货架式和拣选货架式

(1) 单元货架式

单元货架式是一种最常见的结构。货物先放在托盘或集装箱内，再装入仓库货架的货格中。

(2) 移动货架式

移动货架式是由电动货架组成。货架可以在轨道上行走，由控制装置控制货架的合拢和分离。作业时货架分开，在巷道中可进行作业。不作业时可将货架合拢，只留一条作业巷道，从而节省仓库面积，提高空间的利用率。

(3) 拣选货架式

拣选货架式仓库的分拣机构是这种仓库的核心组成部分，它有巷道内分拣和巷道外分拣两种方式，两种分拣方式又分人工分拣和自动分拣。

3) 按货架构造形式可分为单元货格式、贯通式、水平循环式和垂直循环式仓库

(1) 单元货格式仓库

单元货格式仓库(图 7.2)是使用最广、适用性较强的一种仓库形式。其特点是货架沿仓库的宽度方向分成若干排，每两排货架为一组，其间有一条巷道供堆垛起重机或其他起重机作业。每排货架沿仓库纵长方向分为数列，沿垂直方向又分若干层，从而形成大量货格，用以储存货物。在大多数情况下，每个货格存放一个货物单元(一个托盘或一个货箱)。在某些情况下(例如，货物单元比较小，或者采用钢筋混凝土的货架)一个货格内往往存放两三个货物单元，以便充分利用货格空间，减少货架投资。

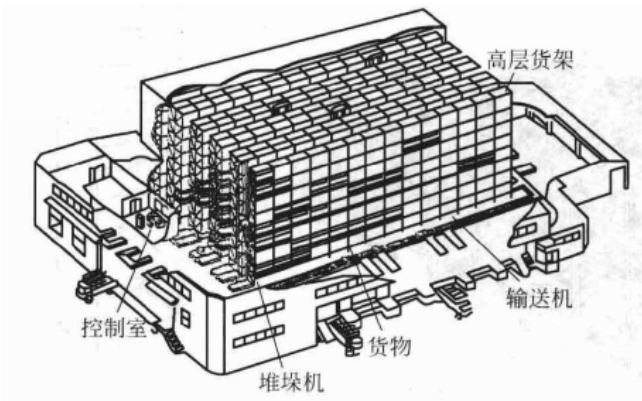


图 7.2 单元货格式仓库示意图

(2) 贯通式仓库

在单元货格式仓库，巷道占去 1/3 左右的面积。为了提高仓库面积利用率，在某些情况下可以取消位于各排货架之间的巷道，将货架合并在一起，使同一层、同一列的货物互相贯通，形成能依次存放多货物单元的通道。在通道一端，由一台入库起重机将货物单元装入通道，而在另一端由出库起重机取货。这就是贯通式仓库。根据货物单元在通道内移动方式

的不同，贯通式仓库又可进一步划分为重力式货架仓库(图 7.3)和梭式小车式货架仓库。

① 在重力式货架仓库中，存货通道带有一定的坡度。入库起重机装入通道的货物单元能够在自重作用下，自动地从入库端向出库端移动，直到通道的出库端或者碰上已有的货物单元停住为止；位于通道出库端的第一个货物单元被出库起重机取走之后，位于它后面的各个货物单元便在重力作用下依次向出库端移动一个货位。由于在重力式货架中，每个存货通道只能存放同一种货物，所以它适用于货物品种不太多而数量又相对较大的仓库。

② 梭式小车式货架仓库由梭式小车在存货通道内往返穿梭搬运货物。要入库的货物由起重机送到存货通道的入库端，然后由位于这个通道内的梭式小车将货物送到出库端或者依次排在已有货物单元的后面。出库时，由出库起重机从存货通道的出库端叉取货物。通道内的梭式小车则不断地将通道内的货物单元依顺序一一搬到通道口的出库端上，给起重机“喂料”。这种货架结构比重力式货架要简单得多。梭式小车可以由起重机从一个存货通道搬运到另一通道。必要时，这种小车可以自备电源。

(3) 水平循环式货架仓库

水平循环式货架仓库的货架本身可以在水平面内沿环形路线来回运行。每组货架由数十个独立的货柜构成(图 7.4)，用一台链式输送机将这些货柜串联起来。每个货柜下方有支承滚轮，上部有导向滚轮。输送机运转时，货柜便相应地运动。需要提取某种货物时，操作人员只需在操作台上给出指令，相应的一组货架便开始运转。当装有该货物的货柜来到拣选口时，货架便停止运转。操作人员可从中拣选货物，货柜的结构形式根据所存货物的不同而变更。水平循环货架仓库对于小件物品的拣选作业十分合适。这种仓库简便实用，能够充分利用建筑空间，对土建没有特殊要求。在作业频率要求不高的场合是很适用的。

(4) 垂直循环式仓库

垂直循环式仓库与水平循环式货架仓库相似，只是把水平面内的旋转改为垂直面内的旋转。这种货架特别适用于存放长卷状货物，如地毯、地板革、胶片卷及电缆卷等。

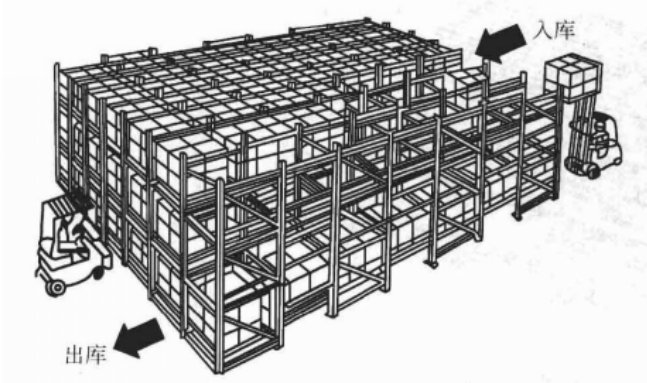


图 7.3 重力式货架仓库示意图

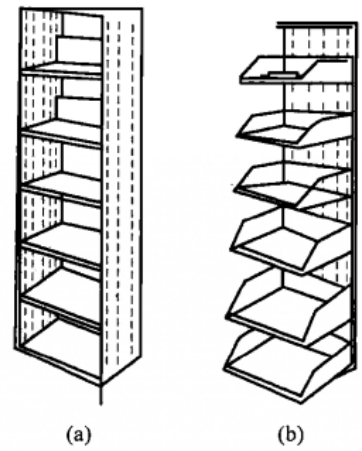


图 7.4 水平循环式货架仓库的各种货柜库
(a) 货柜嵌入式；(b) 货柜外伸式

4) 按所起的作用可以分为生产性仓库和流通性仓库

(1) 生产性仓库

生产性仓库是指工厂内部为了协调工序与工序、车间与车间、外购件与自制件间物流的

不平衡而建立的仓库，它能保证各生产工序间进行有节奏的生产。

(2) 流通性仓库

流通性仓库是一种服务性仓库，它是企业为了调节生产厂和用户间的供需平衡而建立的仓库。这种仓库进出货物比较频繁，吞吐量较大，一般都和销售部门有直接联系。

5) 按自动化立体仓库与生产连接的紧密程度可分为独立型、半紧密型和紧密型仓库

(1) 独立型仓库

独立型仓库(也称为离线仓库)是指从操作流程及经济性等方面来说都相对独立的自动化立体仓库。这种仓库一般规模都比较大，存储量较大，仓库系统具有自己的计算机管理、监控、调度和控制系统，又可以分为存储型和中转型仓库。配送中心也属于这一类仓库。

(2) 半紧密型仓库

半紧密型仓库是指它的操作流程、仓库的管理、货物的出入和经济性与其他厂(或部门或上级单位)有一定关系，而又未与其他生产系统直接相连。

(3) 紧密型仓库

紧密型仓库(也称为在线仓库)是那些与工厂内其他部门或生产系统直接相连的立体仓库，两者间的关系比较紧密。

当然，自动化立体仓库还可以有其他分类方式，以上所述只是比较常见的几种。

7.2 自动化立体仓库的构成

自动化立体仓库是土建、机械、电气等多专业的综合工程。这些专业技术及其设备在立体仓库的设计和施工中互相交叉，又互相制约。物流路线在自动化立体仓库中起着重要的作用。

自动化立体仓库主要由 3 大部分组成，即土建及公用工程设施、机械设备和电气与电子设备。本节介绍后两部分。

7.2.1 机械设备

自动化立体仓库的机械设备一般包括存储机械、搬运机械、输送机械及货架、托盘、货箱等设备。

1. 货架

理想的存储是根本不存在的，因为在实际过程中很难达到理想的存储。但是，库存总应当尽量保持在最小状态。在一定的面积内建造一座仓库，为了提高货物的存放数量，采用堆垛方式无疑比平铺在地面要优越得多。由于货物堆积起来，出库时若需从里面取出货物，必然要花费很多的时间和劳动用来移开上部的货物，即做到“先入先出”是很困难的。但若将不同的货物均存放在标准托盘(或货箱)里，然后将其存放到立体的货架上，就解决了以上的困难。将不同的物品都放在货架上，货架越高，所占用的存储面积越少。同时，对货架的要求也越高。

1) 货架的形式

货架形式有很多种。

(1) 悬臂货架

悬臂货架多用于存储长料,如金属棒、管等。

(2) 流动货架

流动货架的货物可以从货架的一端进入,在重力作用下可从另一端取出。它有时适合于存储数量多、品种少、移动快的物品,如存储某些电子器件等的立体仓库。

(3) 货格式货架

货格式货架最常见,在我国也比较多,多用于容量较大的仓库,如以集装箱为单位存储的立体仓库。

(4) 水平或垂直旋转式货架

水平或垂直旋转式货架是一种旋转或循环的存储装置,它适合于存储体积小、重量轻的物品。货架设有电力驱动装置(驱动部分可设于货架上部,也可设于货架底座内)。货架沿着由两个直线段和两个曲线段组成的环形轨道运行,由开关或用小型电子计算机操纵。旋转式货架分为整体旋转式(整个货架是一个旋转整体)和分层旋转式(各层分设驱动装置,形成各自独立的旋转体系),其中整体旋转式又分为水平旋转式(货架的旋转轨迹平行于地面)(图 7.5)和垂直旋转式(货架的旋转轨迹垂直于地面)(图 7.6)。垂直旋转式货架的提升机根据操作命令可以正转或反转,使需要的货物降落到最下面的取货位置上。垂直旋转式货架特别适用于存放长的卷状货物,像地毯、地板革、胶片卷、电缆卷等。这种货架也可用于储存小件物品。

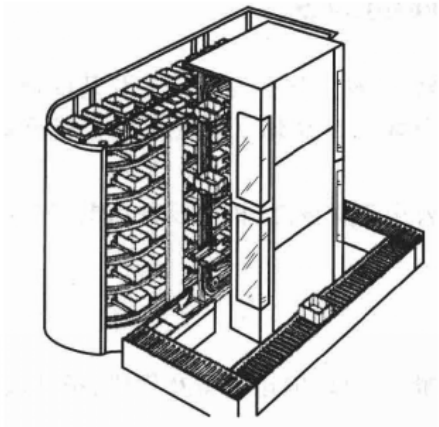


图 7.5 水平分层旋转式货架

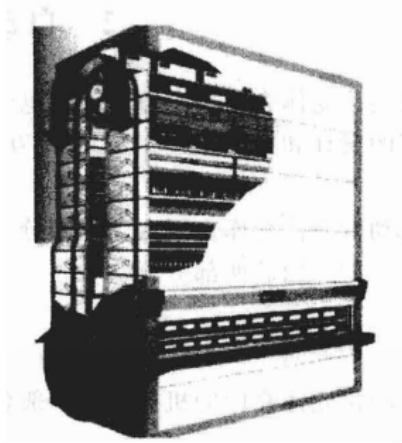


图 7.6 垂直旋转式货架仓库示意图

(5) 悬挂输送存储装置

悬挂输送存储装置多安放于车间的工作区或设备上方,由人工根据需要随时取下或放上货物,整个存储系统在不断低速运动。

(6) 被动辊式货架

对于重量和体积比较大的物品存储有时采用被动辊式货架。在这种货架的单元货格中有很多无动力的辊子,利用存储设备(通常是大型巷道式堆垛机)的动力驱动这些辊子,从而将大型货物存入或取出。机场货运物品的处理多采用这种形式的货架。

2) 货架的材料

高层货架是立体仓库的主要构筑物,一般用钢材或钢筋混凝土制作。

(1) 钢货架

钢货架的优点是构件尺寸小,仓库空间利用率高,制作方便,安装建设周期短。而且随着高度的增加,钢货架比钢筋混凝土货架的优越性更明显。因此,目前国内外大多数立体仓库都采用钢货架。

(2) 钢筋混凝土货架

钢筋混凝土货架的突出优点是防火性能好,抗腐蚀能力强,维护保养简单。

3) 货架的尺寸

(1) 货架的高度

货架的高度是关系到自动化立体仓库系全局性的参数。货架钢结构的成本随其高度增加而迅速增加。尤其是当货架高度超过 20 m 以上时,其成本将急剧上升,同时堆垛机等设备结构费用也随之增长。当库容量一定时,仓库基础费用,运行导轨投资则随货架高度的增长而下降。货架可由冷轧型钢、热轧角钢、工字钢焊接成"货架片",然后组成立体的货架。为此要从基础设计、货架截面选型以及支承系统布置等多方面采取措施。通常货架高度在 8～50 m 之间。

(2) 货格净空尺寸

恰当地确定货格净空尺寸是立体仓库设计中一项极为重要的内容。对于给定尺寸的货物单元,货格尺寸取决于单元四周需留出的空隙大小。同时,它在一定程度上也受到货架结构造型的影响。这项尺寸之所以重要,是因为它直接影响着仓库面积和空间利用率。货格净空尺寸的影响因素很多,其值的确定比较复杂。

(3) 牛腿

牛腿是货架上的一个重要结构。货箱或托盘支托在牛腿上。取货时堆垛机货叉从牛腿下往上升,托起货箱后收叉取走货箱。存货时,货叉支托着货箱从牛腿上方向下降,当其低于牛腿高度时货物就支托在牛腿上了。货架与货箱的关系如图 7.7 所示。

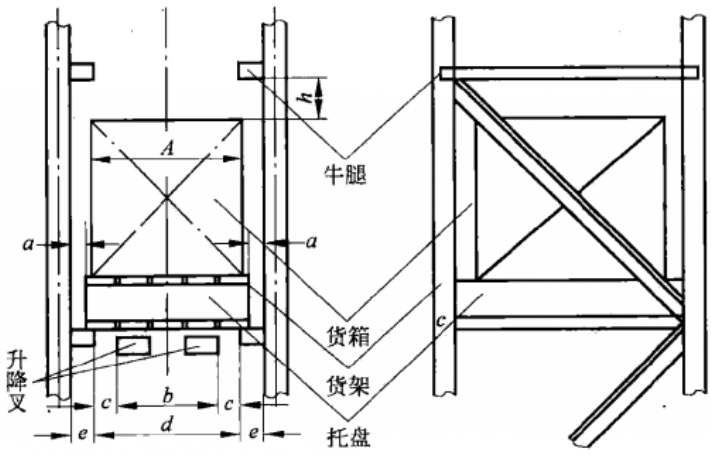


图 7.7 货架与货箱关系图

A—货箱宽度;a—托盘立柱距;b—货叉宽度;c—货叉-牛腿距;d—牛腿间距;e—牛腿宽度;h—牛腿货箱高度差

(a=25～60 mm(大货箱取大值);b=0.7A;c=(0.075～0.1)A(大货箱取大值);d=(0.85～0.9)A;e=60～125 mm(大货箱取大值);h=70～150 mm(大货箱取大值))

4）货架的刚度和精度

作为一种承重结构，货架必须具有足够的强度和稳定性。在正常工作条件下和在特殊的非工作条件下，都不至于破坏。同时，高层货架还必须具有一定的精度和在最大工作载荷下的有限弱性变形。对于自动和半自动控制的立体仓库，货架精度更是仓库成败的决定因素之一。

自动和半自动控制的立体仓库对货架的精度要求是相当高的，包括货架片的垂直度、牛腿的位置精度和水平度等。为了达到设计的要求，有必要对所设计的货架进行力学计算。目前货架设计常采用刚度假设，即认为地基在货架和货物作用下不会产生弹性变形。此种处理使设计计算大为简化，但与实际结构的力学特性相差甚远。弹性基础梁的假设可用于货架设计，将钢筋混凝土层视为弹性基础梁或板，其下的土层视为等效弹簧。这样可同时考虑土层与混凝土的影响，较好地反映实际情况。

2. 货箱与托盘

一个标准的货物或容器称作单元负载。货物的载体可以是托盘、托板、滑板、专用集装箱托盘、专用盛放架、硬纸板箱等。货箱或托盘的基本功能是装物料，同时还应便于叉车和堆垛机的叉取和存放。托盘多为钢制、木制（图 7.8）或由塑料制成；托板一般由金属制成；滑板是由波状纤维或塑料制成，是将单元货物拉组滑板上；专用集装箱托盘多由钢板制成，可在多种输送设备上周转；专用盛放架由钢材或木料制成，可盛放专用件或特殊形状的物品；硬纸板箱盛放高度相对较小的物品；盛放洗衣机和电冰箱一类物品可利用其自身的包装箱。从图 7.7 显示的货箱与货架的几何关系中可以看出，货箱尺寸是货架设计的基本依据。货物（载荷）引起货箱的挠度应小于一定的尺度，否则会影响货叉叉取货物。各种货箱示意图见图 7.9。

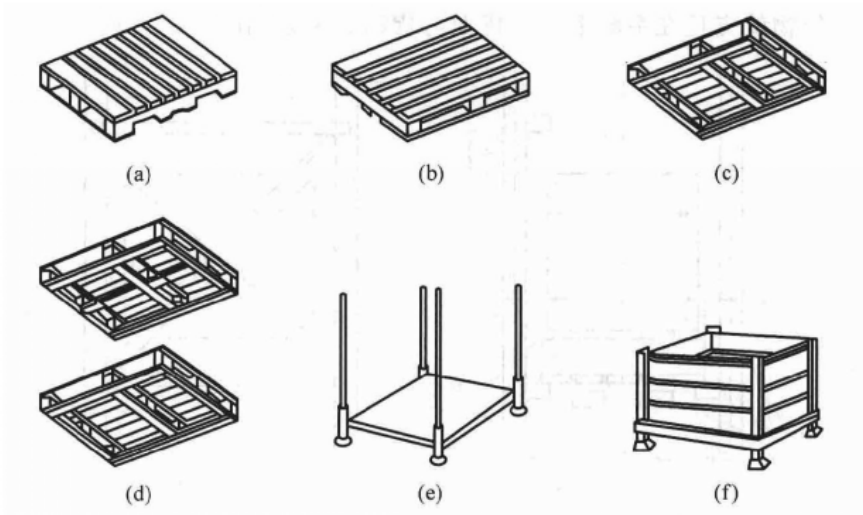


图 7.8 托盘的结构形式

（a）托盘；（b）托板；（c）滑板；（d）专用集装箱托盘；（e）专用盛放架；（f）硬纸板箱

3. 其他机械设备

除上述几种常用到的机械设备外，还有其他一些重要的设备。输送设备是立体仓库中

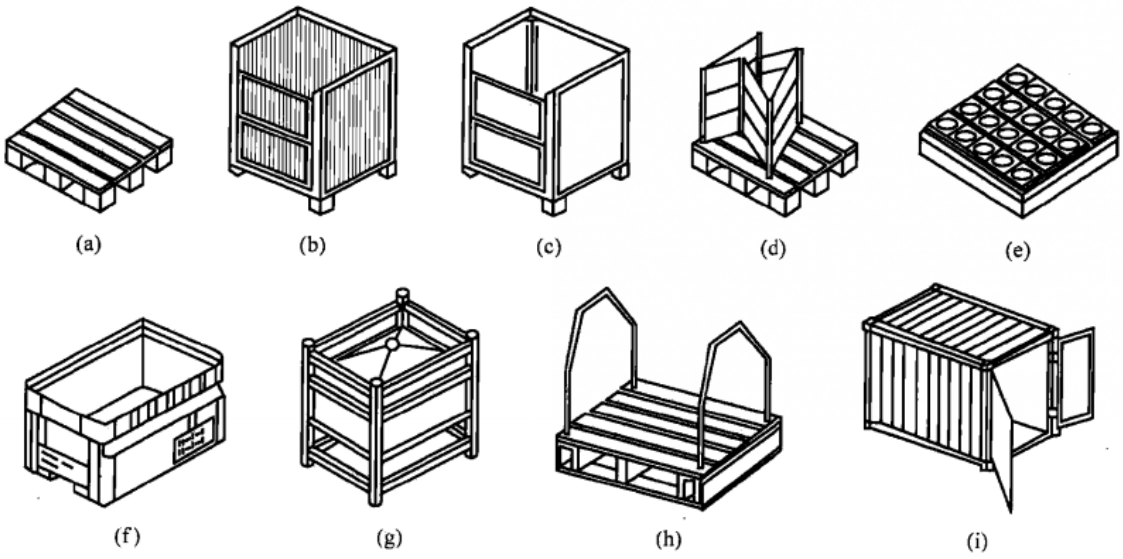


图 7.9 各种货箱图

(a) 木质和塑料托盘；(b) 钢质格栅货箱；(c) 钢质箱形托盘；(d) 具有可折护板的托盘；(e) 工具搬运托盘；(f) 小型塑料货箱；(g) 液体容器型托盘；(h) 套托盘；(i) 150 货箱柜

的辅助设备，它具有把各物流站衔接起来的作用。输送机有辊式、链式、轮式、带式、滑板式、悬挂式等多种形式。运输车有自动导引车、有轨小卫梭式小车及其他地面运输车。

此外，有的自动化立体仓库使用工业车等设备，并与铁路运输、船运、空运相衔接，直接接收各地的货物，或把货物发往各地。常用的工业车有机械铲车、人工叉车、工业链式车、室内吊车、平板运输车和专用工业车。

7.2.2 电气与电子设备

自动化立体仓库中的电气与电子设备主要指检测装置、信息识别装置、控制装置、通信设备、监控调度设备、计算机管理设备、大屏幕显示以及图像监视设备。

1. 检测装置

为了实现对自动化立体仓库中各种作业设备的控制，并保证系统安全可靠地运行，系统必须具有多种检测手段能检测各种物理参数和相应的化学参数。对货物的外观检测及称重、机械设备及货物运行位置和方向检测、对运行设备状态的检测、对系统参数的检测和对设备故障情况的检测都是极为重要的。通过对这些检测数据的判断、处理，为系统决策提供最佳依据，使系统处于理想的工作状态。目前所使用的检测器种类很多，将在后续章节中做详细介绍。

2. 信息识别装置

信息识别装置是自动化立体仓库中必不可少的，它完成对货物品名、类别、货号、数量、等级、目的地、生产厂、甚至货位地址的识别。在自动化立体仓库中，为了完成物流信息的采集，通常采用条形码、磁条、光学字符、射频等识别技术。条形码识别技术在自动化立体仓库中应用最普遍。

3. 控制装置

控制系统是自动化立体仓库运行成功的关键。没有好的控制，系统运行的成本就会很高，而效率很低。为了实现自动运转，自动化立体仓库内所用的各种存取设备和输送设备本身必须配备各种控制装置。这些控制装置种类较多，从普通开关和继电器到微处理器、单片机和可编程序控制器(PLC)，根据各自的设定功能，它们都能完成一定的控制任务，如巷道式堆垛机的控制要求就包括了位置控制、速度控制、货叉控制以及方向控制等。所有这些控制都必须通过各种控制装置去实现。

4. 通信设备

自动化立体仓库是一个复杂的自动化系统，它是由众多子系统组成的。在自动化立体仓库中，为了完成规定的任务，各系统之间、各设备之间要进行大量的信息交换。例如，自动化立体仓库中的主机与监控系统、监控系统与控制系统之间的通信以及仓库管理机通过厂级计算机网络与其他信息系统的通信。信息传递的媒介有电缆、滑触线、远红外光、光纤、电磁波等。

5. 监控调度设备

监控系统是自动化立体仓库的信息枢纽，它负责协调系统中各个部分的运行，在整个系统中起着举足轻重的作用。有的自动化立体仓库系统使用了很多运行设备，各设备的运行任务、运行路径、运行方向都需要由监控系统来统一调度，按照指挥系统的命令进行货物搬运活动。通过监控系统的监视画面可以直观地看到各设备的运行情况。

6. 计算机管理设备

计算机管理系统(主机系统)是自动化立体仓库的指挥中心，相当于人的大脑，它指挥着仓库中各设备的运行。它主要完成整个仓库的账目管理和作业管理，并且负担与上级系统的通信和企业信息管理系统的部分任务。一般的自动化立体仓库管理系统多采用以微型计算机为主的系统，对比较大的仓库管理系统也可采用小型计算机。随着计算机的高速发展，微型计算机的功能越来越强，运算速度越来越高，微型机在这一领域中将发挥更重要的作用。

7. 大屏幕显示

自动化立体仓库中的各种显示设备是为了使人们操作方便、易于观察设备情况而设置的：在操作现场，操作人员可以通过显示设备的指示进行各种搬运、拣选；在中控室或机房，人们可以通过屏幕或模拟屏的显示，观察现场的操作及设备情况。

8. 图像监视设备

工业电视监视系统是通过高分辨率、低照度变焦摄像装置对自动化立体仓库中人身及设备安全进行观察，对主要操作点进行集中监视的现代化装置，是提高企业管理水平，创造无人化作业环境的重要手段。此外，还有一些特殊要求的自动化立体仓库。比如，储存冷冻食品的立体仓库，需要对仓库中的环境温度进行检测和控制；储存感光材料的立体仓库，需要使整个仓库内部完全黑暗，以免感光材料失效而造成产品报废；储存某些药品的立体仓库，对仓库的温度、气压等均有一定要求，因此需要特殊处理。

7.3 巷道式堆垛机

搬运设备是自动化立体仓库中的重要设备，它们一般是由电力来驱动的，通过自动或手动控制，实现把货物从一处搬到另一处。设备形式可以是单轨的、双轨的、地面的、空中的、一维运行(水平直线运行或垂直直线运行)、二维运行、三维运行等。典型设备有开降梯、搬运车、巷道式堆垛机、双轨堆垛机、无轨叉车、转臂起重机等。

巷道式堆垛机是立体仓库中最重要的运输设备，其具体内容已经在第 4 章叙述，故本节不再展开。

7.4 自动化立体仓库的自动寻址

立体仓库的自动寻址就是自动寻找存放/提取货物的位置。计算机控制的自动化立体仓库都具有自动寻址的功能。在同一巷道内的货位地址由 3 个参数组成：第几排货架、第几层货格、左侧或右侧。当自动仓库接收到上级管理机的存取指令和存取地址后，即向指定货位的方向运行。运行中，安装在堆垛机上的传感器不断检测位置信息，计算判断是否到位。

7.4.1 认址装置

认址装置由认址片和认址器组成。

认址器即是某种传感器。目前常用的是红外传感器，发送与接收红外光在同侧时，用反射式的认址片，否则用透射式，如图 7.10 所示。

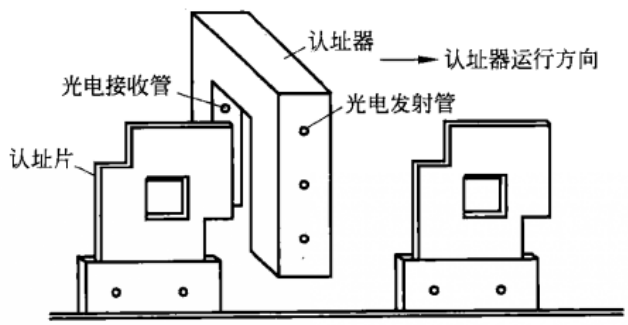


图 7.10 认址器原理

认址片有反射式和透射式。传感器通过认址片时会接收到 0 或 1 的信息。0 表示未接收到红外光，1 表示接收到红外光。由 0、1 组成的代码可以用于地址的判断。

7.4.2 认址检测方式

认址检测方式通常分为绝对认址和相对认址两种。

1. 绝对认址

绝对认址是为每一个货位制定一个绝对代码。为此，需要为每个货位制作一个专门的

认址片。显然，绝对认址方法可靠性高，但是认址片制作复杂，控制程序的设计也十分复杂。

2. 相对认址

相对认址时，货位的认址片结构相同。每经过一个货位，只要进行累加就可以得到货位的相对地址。与绝对认址相比，相对认址可靠性较低，但认址片制作简单，编程也较简单。为了提高相对认址的可靠性，可以增加奇偶校验。

3. 循环

采用循环编码对提高可靠性十分有效。例如四循环编码的认址片由前码、中码和后码组成(图 7.11)。每一货位的前码相同，后码也相同。中码则每四个货位重复变化一次(图 7.12)。

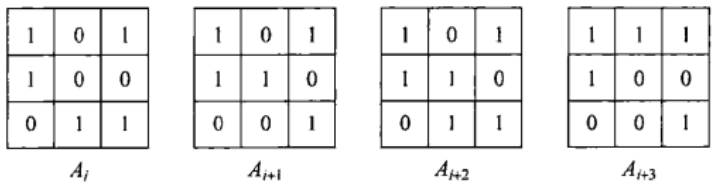


图 7.11 四循环编码认址片

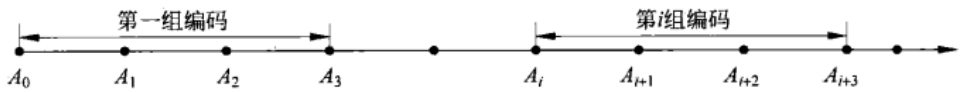


图 7.12 四循环编码的循环方法

这种编码吸取了相对认证和绝对认证各自的优点，避开了它们的缺点，使认址系统既简单又可靠。主要有如下优点。

(1) 认址可靠性大大提高

设传感器装置的可靠性为 X，编码的循环周期为 M，认址可靠性为 R，则有

$$R = 1 - (1 - X)^M$$

图 7.13 反映认址可靠性 R 与周期 M 之间的关系。从图 7.13 中可以看出，当 $M=4$ 时，即使 $X=50\%$，系统可靠性仍高达 92%。

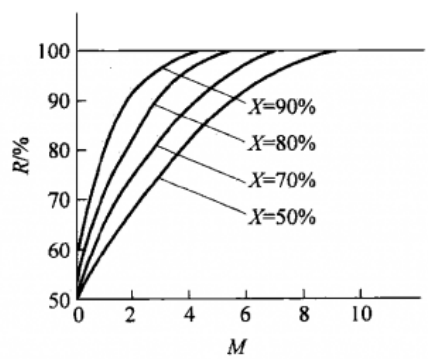


图 7.13 认址可靠性曲线

从图 7.13 中还可以看出，当循环周期增加时，可靠性曲线随之上升。当循环周期增加到一定程度时，可靠性曲线逐渐趋于平缓。这说明当循环周期增加到某一值时，相应可靠性的提高就微不足道了。从这个意义上说，绝对认址是完全不必要的。另一方面，相对认址加奇偶校验相当于 $M=2$ 的情况。这时系统的可靠性尚未达到可靠性曲线的平缓区域，因此其可靠性仍是较低的。

(2) 传感器装置简单

我们知道，每个传感器有 0、1 两种状态，n 个传感器可以有 2^n 种状态，即 2^n 种编码。在循环编码系统里，前码、后码、空码(传感器离开认址片时的码，一般是 111)和过渡码(认址

片中的过渡区，一般为000)共需要4种编码。这样，根据$2^n=M+4(M>1)$可列出传感器数与循环周期数的关系(表7.1)。从表7.1中可以看出，当不用循环编码时，至少要有两个传感器。这就是相对认址的方式。当传感器增加一个时，循环周期最多可达到4。如前述，$M=4$时，可靠性有较大的提高。因此可以认为取循环周期为4是最合适的。当然，随着传感器数量的增加，认址装置的可靠性还会有所下降。这一点也要加以考虑。

表7.1 传感器数与循环周期的关系

n	M	n	M
2	0	4	5～12
3	2～4	5	13～28

(3) 软件设计简单

由于认址过程与相对认址过程基本相同，停位校验又只有四种不同的编码，软件设计与相对认址情况基本相同，仍是较简单的。

(4) 识别的货位数不受限制

这种编码系统适用于货位数不同的仓库。在增加货位时，只需要增加认址片的套数，不必对软件进行很多修改。

总之，循环编码系统综合考虑了系统可靠性与系统经济性等因素。可以说，这种编码的概念适用于任何地址识别系统。

7.5 仓库自动化系统的设计

7.5.1 设计原则

仓库自动化系统是一个分层分布式计算机控制系统(hierarchical distributed computer system)，一般分为管理级、监控级、控制级和设备级。系统的主体是高层货架、巷道式堆垛机和计算机系统。堆垛机的运行速度和加速度是其重要技术指标，它的垂直提升速度最高可达30～45 m/min，水平运行速度可达120～200 m/min，但由于巷道长度的限制，大部分时间堆垛机都不在高速运行状态。运行的加速度可达0.5 m/s^2，实际运行只有0.3 m/s^2。

高层货架类似于人工仓库系统，然而，由于堆垛机必须在不损伤设备的情况下能准确定位，进行货物存取，货位安排更紧凑。尤其重要的是，稳固的基础是高层货架安全和精确的保证。实践证明，遵循一定的设计原则会大大地提高工作效率和产生最佳的生产效益。

① 明确设计目标。在设计过程中，必须始终牢记设计目标。这将避免其他次要因素的干扰。

② 保持物料向前移动。保持物料始终向最终目的地移动，尽量避免返回、侧绕和转向。

③ 直接从起点到终点的路线是最经济、最快捷和最有效的。

④ 物料处理次数最少。不管是以人工方式还是自动方式，每一次物料处理都需要花费一定的时间和费用。通过复合操作，或者减少不必要的移动，或者引入能同时完成多个操作的设备，可以减少处理次数。

⑤ 使用合适的设备。对于具体的应用，选择合适的设备可能是成功与失败的分水岭，

能完成特定任务的前提下，最廉价而有效的设备是合适的设备。面对多种设备时，设计者必须根据自己的经验和其他信息做出最佳选择。

⑥ 最少的人工处理。人工处理是昂贵的，并且容易产生错误。通常，像重力辊式输送机这样简单低价的设备能减少人工处理的需要，并在短期内收回投资。

⑦ 考虑系统的安全。设计的物料系统应能保护人、产品和设备不受损伤。在系统设计中必须考虑防撞、防掉落、防火等措施。

⑧ 系统简化原则。尽量使用能完成工作的最简单的系统。一般来说，系统越简单，操作和维护成本越低，可靠性越高，系统响应速度越快。

⑨ 高利用率原则。系统的自动化程度越高，其固定成本越高。应尽量减少设备的空闲时间。此外，由于故障或缺料，还必须为闲置的工人支付薪金。因此要追求最少故障时间和最大运行时间。

⑩ 灵活性原则。系统应能满足未来的需求和变化。生产者必须不断进行改进以适应激烈的市场竞争，这就需要在现在和未来需求之间做出平衡。系统的经济性会限制其灵活性。

⑪ 容量富余原则。增加一个超负荷系统的容量是一件困难的事情，因此要设计成一个能满足现在和不久的将来需要的容量。设计者和管理者应能根据发展规划预测出未来要增加的容量。

⑫ 自动化原则。最大限度地应用自动化控制进行操作。恰当的自动控制能减少差错，降低使用成本，提高利用率和产量。

⑬ 降低使用成本原则。在设计中，要能预测系统的使用费用，尽量保持在很低的水平，这将为系统的使用带来效益。

⑭ 利用有效空间原则。由于自动化立体仓库需要大量土地、基础和各种设施，要占用经费，因此要充分利用库房内外的空间存储物料，避免空间的浪费。

⑮ 有效维护原则。设计的系统要能有效维护，并且维护费用低。有效维护指日常保养和快速修理。

⑯ 复合操作原则。尽量把几种操作合并在一起进行，便于出库和入库穿插进行。

⑰ 简化流程原则。因为每种操作都需要一定的费用，因此要尽量减少操作。设计者应不断地问自己“这个操作必要吗?”，“能不要这个操作吗?”

⑱ 人机工程学原则。设计时要考虑到系统中人(管理、操作和维护人员)的安全、舒适、方便和不易犯错误。

⑲ 最短移动距离原则。以物料和设备最短的移动距离达到希望的目的，移动的距离越长，所需的时间和费用越多。

⑳ 易于管理和操作原则。设计的系统应当是容易管理和易于掌握的，这样使用者才容易接受并使用。

㉑ 充分利用能量原则。现在，在很多决策当中，能量都是一个重要的因素，这在未来会越来越重要。充分利用重力的作用进行系统设计就是其中的一个方面。

㉒ 标准化原则。标准的设计、产品、设备和货物单元能为制造者和使用者带来极大的方便，这也是国内外的发展趋势。

㉓ 超前规划原则。企业其他部门的运作和决策可能会影响自动化立体仓库的功能，企

业对新产品的投入也需要调整物流系统，销售策略的变化也会影响产品生产和物流系统。因此，设计者对这些变化要有预见性，在设计中考虑这些因素，设计出的系统才会有很强的适应性。

㉔ 降低操作费用原则。有效操作的关键因素是保持日常的低成本操作，只有能控制操作成本并使之保持在低水平的系统才是好的设计。

独立看每一条原则都比较简单，可能也很容易实现，但要把这些原则综合运用好是很困难的，这需要有较高的理论水平、丰富的实践经验和对使用者的要求有较深入的了解，才能使系统达到最佳状态，发挥最大作用。然而在特定的场合下，有些原则是互相影响，甚至是互相矛盾的。为了做出最佳的设计，设计者必须对这些原则进行科学的选择和修改。

7.5.2 系统设计过程

每个系统的设计都分几个主要阶段，各个阶段都有其要达到的目标。

1. 需求分析(准备阶段)

在这一阶段里要提出问题，确定设计目标，并确定设计标准。通过调研搜集设计依据和数据，找出各种限制条件，并进行分析。另外，设计者还应认真研究工作的可行性、时间进度、组织措施以及影响设计过程的其他因素。

2. 确定货物单元形式及规格

根据调查和统计结果列出所有可能的货物单元形式和规格，并进行合理的选择。这一阶段不一定花费很多时间，但它的结果将对自动化立体仓库的成功具有至关重要的作用。

3. 确定自动化立体仓库的形式、作业方式和机械设备参数

在上述工作的基础上确定仓库形式，一般多采用单元货格式仓库。对于品种不多而批量较大的仓库，也可以采用重力式货架仓库或者其他形式的贯通式仓库。根据出入库的工艺要求(整单元或零散货出入库)决定是否需要拣选作业。如果需要拣选作业，则需确定拣选作业方式。立体仓库的起重设备有很多种，它们各有特点。在设计时，要根据仓库的规模、货物形式、单元载荷、吞吐量等选择合适的设备，并确定它们的参数。对于起重设备，根据货物单元的重量选定起重量，根据出入库频率确定各机构的工作速度。对于输送设备，则根据货物单元的尺寸选择输送机的宽度，并恰当地确定输送速度。

4. 建立模型

建立模型主要是指根据单元货物规格确定货架整体尺寸和仓库内部布置。

(1) 确定货位尺寸和仓库总体尺寸

自动化立体仓库的货架由标准的部件构成，在正确的安装完成之后，它能满足所有负载、允许的偏差和其他工程要求。在立体仓库设计中，恰当地确定货位尺寸是一项极其重要的内容，它直接关系到仓库面积和空间利用率，也关系到仓库能否顺利地存取货物。货位尺寸取决于在货物单元四周需留出的净空尺寸和货架构件的有关尺寸。对自动化立体仓库来说，这些净空尺寸的确定应考虑货架、起重设备运行轨道以及仓库地坪的制造、安装和施工精度，还与起重搬运设备的停车精度有关。

(2) 确定仓库的整体布置

货位数取决于有效空间和系统需要量。在香港启德机场，由德国制造的货架高度达到

44.5 m，而我国国内企业制造的货架也已达 20 m。但是，随着货架高度的增加，建设费用也将增加。因此，还要从技术上比较容易实现和经济上比较合理的角度确定货架高度。一般情况下，每两排货架为一个巷道，根据场地条件可以确定巷道数。如果库存量为 N 个货物单元，巷道数为 A，货架高度方向可设 S 层，若每排设有同样的列数，则每排货架在水平方向应具有列数 C 为

$$C = N/(ZAS)$$

根据每排货架的列数 C 及货格横向尺寸可确定货架总长度 L。之后，根据作业频率的要求确定堆垛机的数量和工作形式，多数情况下每巷道配备一台堆垛机。此外，还要确定高层货架区和作业区的衔接方式，可以选择采用叉车、运输小车或者输送机等运输设备。按照仓库作业的特点选择出入口的位置。

5. 确定工艺流程，并核算仓库工作能力

(1) 立体仓库的存取模式

在立体仓库中，存取货物有两种基本模式，即单作业模式和复合作业模式。

单作业是堆垛机从巷道口取一个货物单元送到选定的货位，然后返回巷道(单入库)；或者从巷道口出发到某一个给定的货位取出一个货物单元送到巷道口(单出库)。

复合作业就是堆垛机从巷道口取一个货物单元送到选定的货位 A，然后直接转移到另一个给定货位 B，取出其中的货物单元，送到巷道口出库。

存取时应尽量采用复合作业模式，以提高存取效率。

(2) 出、入库作业周期的核算

仓库总体尺寸确定之后便可核算货物出、入库平均作业周期，以检验是否满足系统要求。目前，国内外多采用计算机对每一货位的作业都进行核算，从而准确地找出平均作业周期。为了提高出、入库效率，可以使用双工位堆垛机采用一次搬运两个货物单元的作业方式。堆垛机的载货台上有两组货叉，它们可以分别单独伸缩，以存取两个货物单元，提高作业效率。另一种方案是批发货架设计成两个货物单元深度(双深位)，堆垛机的货叉也相应增长一倍。货叉伸出一半时可叉取一个货物单元，全部伸出后可叉取多处的货物单元。采用这种方式还可使货物堆存密度提高 10%～20%。

6. 提出对土建及公用工程的设计要求

自动化立体仓库的工艺设计要根据工艺流程的需要提出对仓库的土建和公用工程的设计要求。其内容主要包括以下几方面：确定货架的工艺载荷，提出对货架的精度要求；提出对基础的均匀沉降要求；确定对采暖、通风、照明防火等方面的要求。

7. 选定控制方式和仓库管理方式

(1) 选定控制方式

根据作业形式和作业量的要求确定堆垛机的控制方式，一般可分为手动控制、半自动控制和全自动控制。出入库频率比较高，规模比较大，特别是比较高的仓库，使用全自动控制方式可以提高堆垛机的作业速度、提高生产率和运行准确性。高度在 10 m 以上的仓库大都采用全自动控制。

(2) 选择管理方式

随着计算机功能不断强大，价格不断下降，对于大中型仓库越来越普遍地采用计算机进

行管理，并在线调度堆垛机和各种运输设备的作业。计算机管理是效率比较高、效果比较好的管理方式。

(3) 提出自动化设备的技术参数和配置

根据设计确定自动化设备的配置和参数。例如，确定选择什么样的计算机(主频速度、内存容量、硬盘容量、系统软件、接口能力等)，堆垛机的速度、高度、电动机功率、调速方式等。

7.5.3 系统功能自动化

仓库的功能一般包括收货、存货、取货及发货等。

1. 收货

收货指仓库从原材料供应方或生产车间接收各种材料或半成品，供工厂生产或加工装配之用。收货时，需要站台或场地以供运输车辆停靠，需要升降平台作为站台和载货车辆之间的过桥，需要装卸机械以完成装卸作业。卸货后需要检查货物的品名和数量，以及货物的完好状态。确认完好后方能入库存放。

2. 存货

存货是将卸下的货物存放到自动化系统规定的位置，一般是存放到高层货架上。存货之前首先要确认存货的位置。某些情况下可以采取分区固定存放的原则，即按货物的种类、大小、包装形式等实行分区分位存放，随着移动货架和自动识别技术的发展，已经可以做到随意存放，既能提高仓库的利用率，又可以节约存取时间。存货作业一般通过各种装卸机械完成。系统对保存的货物还可以定期盘查，以控制保管环境，减少货物受到的损伤。

3. 取货

取货是指根据需求情况从库房取出所需的货物。可以有不同的取货原则，通常采用的是先入先出(FIFO)方式，即在出库时，先存入的货物先被取出。对某些自动化立体仓库来说，必须能够随时存取任意货位的货物，这种存取要求搬运设备和地点能频繁更换。这就需要有一套科学和规范的作业方式。

4. 发货

发货是将取出的货物按照严格的要求发往用户。根据服务对象不同，有的仓库只向单一用户发货，有的则需要向多个用户发货。发货时需要配货，即根据使用要求对货物进行配套供应。因此，发货功能的发挥不仅要靠运输机械，还要靠包装机械的配合。当然，各种检验装置也是不可缺少的。

5. 信息查询

信息查询是指能随时查询仓库的有关信息，可以查询库存信息、作业信息以及其他相关信息。这种查询可以在仓库范围内进行，有的可以在其他部门或分厂进行。

7.5.4 生产能力及仿真

自动化立体仓库必须维持一定数量的存货以满足使用的要求。库存物资过多会增加物流成本，积压资金；而存货量过少，不能满足使用需求，一方面失去销售机会，另一方面失去

买主信誉而造成失去赢利的可能。像这样应该存哪些物资、存量多少、什么情况下应补充存量等一类复杂问题，用计算机仿真会得到比较符合实际情况的结果。

自动化立体仓库的仿真是确定操作能力的好方法，它能提出设计建议并完成系统任务的设计参数。仿真的输入是系统设计和用户要求的所看货位和相应的任务，仿真模型计算以单作业或复合作业完成这些任务所需的时间，输出单位时间（如 1h）完成的作业任务次数，并模拟作业情况。仿真模型还能适应日产量的变化，依据历史的统计规律确定某些物资库存最低点和经济订货批量以满足客户需求。当需求变化时，计算机仿真方法可以随时进行再评估，以保证在一定阶段内物流成本最低，总效益最好。

7.5.5 几种典型的自动化系统结构

在自动化立体仓库的运行过程中，一般有几种控制方式，以便于操作和调试人员根据需要对仓库的各种情况进行灵活的处理。控制方式按操作方式可分为手动控制、半自动控制、遥控和全自动控制；按自动化控制系统总线分配模式可分为集中控制方式和分层分布控制方式。

1. 手动控制

手动控制是指货物的搬运和储存作业由人工完成或人工操作简单机械完成。这种方式多数在调试或事故处理状态下使用。

2. 半自动控制

半自动控制是指货物的搬运和储存作业有一部分由人工完成。整个仓库作业活动可以通过可编程序控制器（PLC）或微型计算机控制。

3. 遥控

遥控是将仓库内的全部作业机械（如堆垛机、运输设备等）的控制全部集中到一个控制室内，控制室的操作人员通过电子计算机进行仓库作业活动的远距离控制。

4. 全自动控制

全自动控制指装运机械和存放作业都通过各种控制装置的控制自动进行操作，电子计算机对整个仓库的作业活动进行控制。这是正常运行方式下使用的控制方式。近年来，计算机和微处理器飞速发展，功能不断增强，效率不断提高，容量不断增大，体积不断缩小，可靠性不断提高，价格不断降低，为自动化系统的实现开辟了越来越广阔的天地。

5. 集中控制方式

在 20 世纪 70 年代末 80 年代初，随着单板机在工业应用中的兴起，多数使用单板机对自动化立体仓库的设备进行控制。可以选用一套容量大、I/O 接口多的单板机系统进行控制（图 7.14）。对于比较小的系统，由于其数据量少，功能要求低，实时控制易于实现，因此可采用这种方式。从所使用的硬件数量来看，设备较少，物理上容易实现，但对设备的可靠性要求高，因为一旦设备发生故障，将影响整个系统的运行。为了提高系统的可靠性，可以采取几种措施：一种措施是硬件冗余措施，另一种措施是采用功能强、可靠性高的 PLC，同时，在软件设计上也采取多种提高可靠性的措施。

6. 分层分布控制方式

分层分布式控制系统（图 7.15）的一大优点就是全部系统功能不集中在一台或几台设

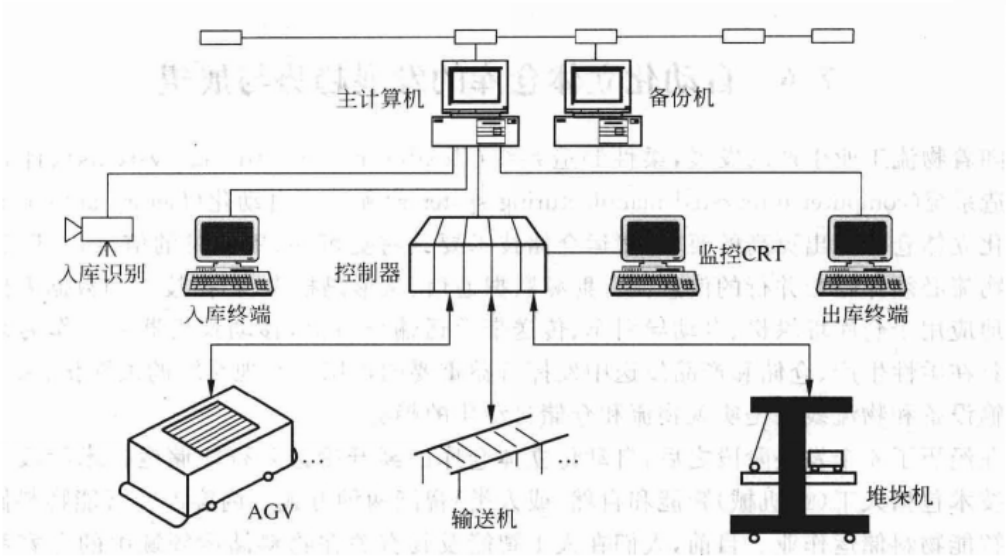


图 7.14 集中控制系统示意图

备上。因此，即使某台或几台设备发生故障，对其他设备也不会产生影响或影响很小。而且控制方式也是分层次的，系统既可在高层次上运行，也可在低层次下运行。正因为如此，这种控制系统的结构目前在国内外使用较多，它适合应用于大规模控制的场合。另外，对系统中的主要设备可采取多种备份措施，如热备份、及时备份、冷备份等。

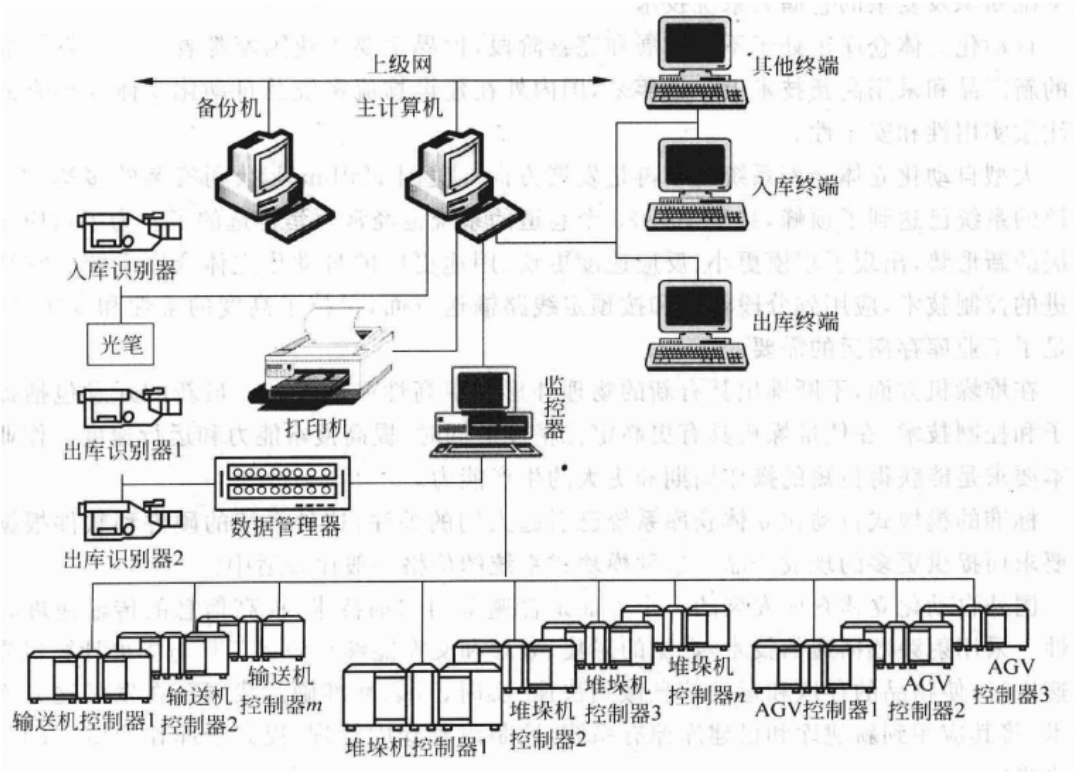


图 7.15 分层分布式控制系统示意图

7.6 自动化立体仓库的发展趋势与展望

随着物流工业生产的发展，柔性制造系统(flexible manufacturing systems)、计算机集成制造系统(computer integrated manufacturing systems)和工厂自动化(factory automation)对自动化立体仓库提出更高的要求，搬运仓储技术要具有更可靠、更实时的信息，工厂和仓库中的物流必须伴随着并行的信息流。射频数据通信、条形码技术、扫描技术和数据采集越来越多地应用于仓库堆垛机、自动导引车、传送带等运输设备上，移动式机器人也作为柔性物流工具在柔性生产、仓储和产品发送中发挥日益重要的作用。实现系统的柔性化、采用灵活的传输设备和物流线路是实现物流和仓储自动化的趋势。

在经历了4个发展阶段之后，自动化立体仓库已经开始进入智能储运技术阶段。智能储运技术包括人工(或机械)智能和自然(或人类)智能两种方式。内容涉及智能物料储运设计和智能物料储运作业。目前，人们在人工智能及其有关在物料储运领域中的专家系统技术方面正在进行着大量的工作。例如，正在研究的将专家系统应用于自动导引车和单轨系统，使它们具有确定在线路线和合理的运行决策。在接收物料入库和装运出库方面，专家系统能控制机器人进行物料入架和出架操作，能控制堆垛机的装卸以及指定物料储存点。正在研制的专家系统，能实现辅助设计人员设计自动导引车导向槽和缓冲件，配置和选择单元装载件和研究小型物件的储运技术。为了设计智能化的仓储系统，必须深入研究物料处理的基础知识及复杂的仓储大系统技术。

自动化立体仓库正处于不断发展和完善阶段，世界主要工业国家都着眼于开发性能可靠的新产品和采用高新技术上。近年来，国内外在建设物流系统及自动化立体仓库方面更加注重实用性和安全性。

大型自动化立体仓库系统已不再是发展方向。美国 Hallmark 公司安装的多达 120 个巷道的系统已达到了顶峰，甚至 10～20 个巷道的系统也经常不是首选的了。为了适应工业发展的新形势，出现了规模更小、反应速度更快、用途更广的自动化立体仓库系统。它结合先进的控制技术，应用到分段输送和按预定线路输送方面，保持了高度的柔性和高生产率，满足了工业库存搬运的需要。

在堆垛机方面，不断推出具有新的物理外形和更高性能的设备。最新的开发包括提高电子和控制技术，在使堆垛机具有更高定位精度的同时，提高搜索能力和运行速度。作业的基本要求是能获得更短的操作周期和更大的生产能力。

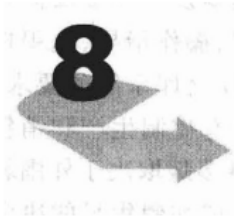
标准的模块式自动化立体仓库系统已引起人们的关注，这种系统的硬件和软件根据用户要求而提供更多的现成产品。这种模块式系统的价格一般比较适中。

国外自动化立体仓库发展的一个方面是普遍采用扫描技术，提高信息的传输速度和准确性。采用射频数据通信技术，数据的采集、处理和交换能够在搬运工具与中央计算机之间快速进行，使物品的存取和运送信息做到快速、实时、可靠和准确。我国正在发展这方面的技术，将其应用到新建库和已建库原有系统，这是改善仓库管理，提高仓库作业效率的一个重要步骤。

国外在开发与应用新技术中，特别强调管理人员、操作人员素质与工作能力的培养，并把建立一支经过良好训练和具有思考能力的人员队伍看做是成功开发与应用新技术的重要

因素。具有工作人员的主动性、积极性和具有自主能力的工作组的创造性已成为现代工业环境下的普遍要求。

随着计算机技术的不断发展，人工智能技术，特别是专家系统在工业中的应用日益增多，对一些搬运工具，如堆垛机等有的已采用智能系统。另外，近年来迅猛发展的多媒体技术也在自动化立体仓库中得到越来越广泛的应用，普遍应用于人员培训、操作指导、远程现场监视、异地故障分析和诊断以及防火防盗等方面。现在，对自动化立体仓库系统的要求，与最初因节省土地和节省劳动力而受到欢迎的情况又有所不同，要求具有控制生产和销售活动的功能，即起到所谓“经营型仓库”的作用。要实现这些要求，越来越多地取决于外围软件。也可以认为，仓库的功能是提高有关制造工序和生产线生产率以及增加销售量的决定性环节。对仓库系统来说，外围软件的重要性大增，与此同时，外围设备的水平也在快速提高，其功能也变得多样化。据日本产业机械工业会的报告公布：在“硬件＋软件＝总投资”中，以前外围软件所占的比例是15%左右，近几年来在逐步上升，已超过50%，而且还在不断增加。对自动化立体仓库功能要求的提高，实际上是进一步对外围软件要求的提高。因此，在系统设计中，迫切希望外围软件发展成为一项丰富多彩的技术。



自动刀库

8.1 自动化刀具

刀具自动化是指加工设备在切削过程中自动完成选刀、换刀、对刀、走刀等工作过程。

自动化刀具的切削性能必须稳定可靠，具有高的耐用度和可靠性；刀具结构应保证其能快速或自动更换和调整，并配有工作状态在线检测与报警装置；应尽可能地采用标准化、系列化和通用化的刀具，以便于刀具的自动化管理。

自动化刀具通常分为标准刀具和专用刀具两大类。为了提高加工的适应性并兼顾设备刀库的容量，应尽量减少使用专用刀具，选用通用标准刀具、标准组合刀具或模块式刀具。

自动化加工设备必须配备标准辅具，建立标准的工具系统，使刀具的刀柄与接杆标准化、系列化和通用化，才能实现快速自动换刀。自动化加工设备的辅具主要有铣镗类数控机床用工具系统（简称 TSG 系统）和车床类数控机床用工具系统（简称 BTS 系统）两大类。它们主要由刀具的柄部、接杆和夹头几部分组成。工具系统中规定了刀具与装夹工具的结构、尺寸系列及其连接形式。数控工具系统有整体和模块两种不同的结构型式。整体式结构是每把工具的柄部与夹持工具的工作部分联成一体，因此不同品种和规格的工作部分都必须加工出一个能与机床连接的柄部，致使工具的规格、品种繁多，给生产、使用和管理都带来不便。模块式工具系统是把工具的柄部和工作部分分割开来，制成各种系列化的模块，然后经过不同规格的中间模块，可组装成不同规格的工具。这样既便于制造、使用与保管，又能以最少工具库存来满足不同零件的加工要求。

图 8.1 是数控键铣床用的模块式工具系统结构示意图。其中图(a)和图(b)为与机床相连的工具锥柄，其中带夹持梯形槽的适用于加工中心机床，可供机械手快速装卸锥柄用；图(c)和图(d)为中间接杆，它们有多种尺寸，以保证工具各部分有所需的轴向长度和直径尺寸；图(e)和图(f)为用于装夹镗刀的中间接杆，内有微调膛刀尺寸的装置；图(g)和图(h)为另一种接杆，它们的一端可连接不同规格直径的粗、精刀头或面铣刀、弹簧夹头、圆柱形直柄刀具和螺纹切头等，另一端则可直接与锥柄或其他中间接杆相连接。利用这些模块组成的刀具(图 8.2)，可实现通孔加工(图(a))、粗镗-半精镗-精镗孔及倒角(图(b))、镗阶梯孔(图(c))、镗同轴孔及倒角(图(d))，以及钻-镗不同孔等的组合加工(图(e))。

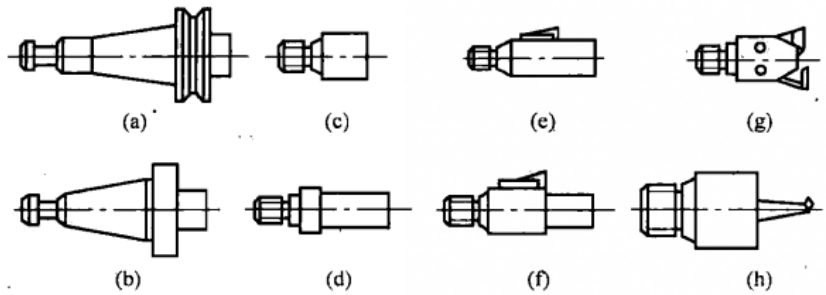


图 8.1 数控键铣床用模块式工具系统

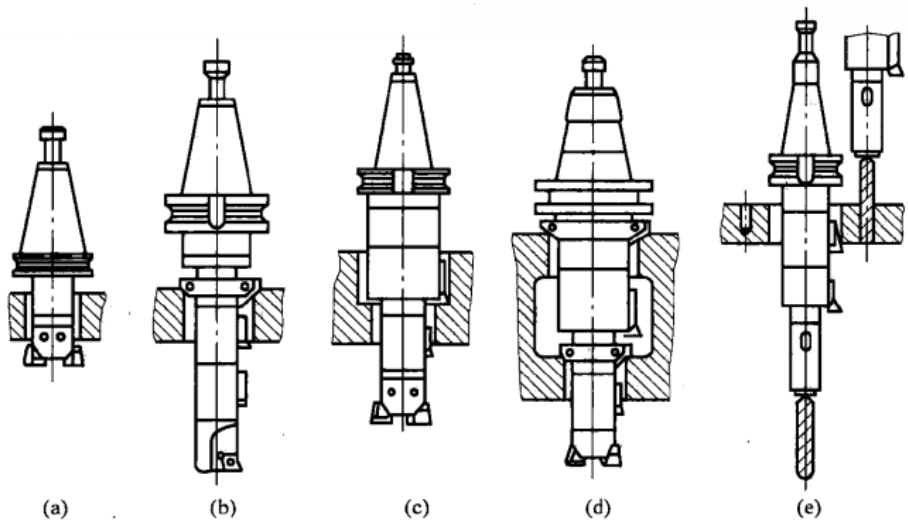


图 8.2 模块式刀具实现的加工

8.2 自动化刀库和刀具交换与运送装置

1. 刀库

20 世纪 60 年代末开始出现储有各种类型刀具并具有自动换刀功能的刀库，使工件一次装夹就能自动顺序完成各个工序加工的数控机床(加工中心)。刀库是自动换刀系统中最主要的装置之一，其功能是储存各种加工工序所需的刀具，并按程序指令快速而准确地将刀库中的空刀位和待用刀具送到预定位置，以便接受主轴换下的刀具和便于刀具交换装置进行换刀。它的容量、布局以及具体结构对数控机床的总体布局和性能有很大影响。

2. 刀具交换与运送

能够自动地更换加工中所用刀具的装置称为自动换刀装置(automatic tooi changer，ATC)、自动换刀装置应当满足换刀时间短、换刀重复定位精度高、足够的刀具储存量、刀库占地面积小以及安全可靠等基本要求。常用的自动换刀装置有以下几种形式。

(1) 回转刀架

回转刀架常用于数控车床，可安装在转塔头部用于夹持各种不同用途的刀具，通过转塔

头的旋转分度来实现机床的自动换刀动作。它的形式一般有立轴式和卧轴式。立轴式一般为四方或六方刀架，分别可安装四把或六把刀具；卧轴式通常为圆盘式回转刀架，可安装的刀具数量较多。为了在加工过程中自动换刀，需要实现刀架转位自动化。自动转位刀架有夹持三把刀具的三角刀架、夹持四把刀具的方刀架及夹持多把刀具的转塔式刀架等。按转位的传动装置又可分为液压、气动、电气和机械式。自动转位刀架应当有较高的重复定位精度和刚性，便于控制，并能与改装的机床相适应。

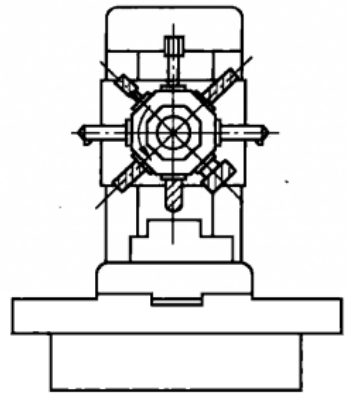


图 8.3 更换主轴换刀装置

(2) 主轴与刀库合为一体的自动换刀装置

图 8.3 是数控机床上常用的更换主轴换刀装置。正八面体转塔上均布有八把可旋转的刀具，它们对应装在 8 根主轴上，转动转塔头，即可更换所需的刀具，同时接通主运动，因此这种换刀方式又称为更换主轴换刀。转塔头实际上就是一个刀库。由于刀库与主轴合为一体，机床结构较为简单，且由于省去刀具在刀库与主轴间的交换等一系列复杂的操作过程，从而缩短了换刀时间，提高了换刀的可靠性。

(3) 主轴与刀库分离的自动换刀装置

这种换刀装置由刀库、刀具交换装置及主轴组成，其独立的刀库可以存放几十至几百把刀具，能够适应复杂零件的多工序加工。由于只有一根主轴，因此全部刀具都应具有统一的标准刀柄。当需要某一刀具进行切削加工时，自动将其从刀库交换到主轴上，切削完毕后自动将用过的刀具从主轴取下放回刀库。刀库的安装位置可根据实际情况较为灵活地设置。当刀库容量相当大，必须远离机床布置时，就要用到自动化小车、输送带等物料传输设备来实现刀具的自动输送。

3. 刀具的自动识别

自动换刀装置对刀具的识别通常采用刀具编码法或软件记忆法。

(1) 刀具编码环及其识别

编码环是一种早期使用的刀具识别方法，基本原理如图 8.4 所示。在刀柄或刀座上装有若干个厚度相等、不同直径的编码环，如用大环表示二进制的“1”，小环表示“0”，则这些环的不同组合就可表示不同刀具，每把刀具都有自己的确定编码。在刀库附近装有一个刀具读码识别装置，其上有一排与编码环一一对应的触针式传感器。读码器的触头能与凸圆环面接触而不能与凹圆环面接触，所以能把凸凹几何状态转变成电路通断状态，即“读”出二进制的刀具码。当需要换刀时，刀库旋转，刀具识别装置不断地读出每一把经过刀具的编码，并送入控制系统与换刀指令中的编码进行比较。当二者一致时，控制系统便发出信号，使刀库停转，等待换刀。由于接触式刀具识别系统可靠性差，因磨损大而使用寿命短，因而逐渐被非接触式传感器和条形码刀具识别系统所取代。

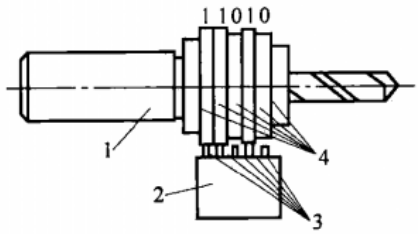


图 8.4 刀具编码法

1—刀柄；2—接触式识别装置；3—触针(销)；4—数码环

(2) 软件记忆法

软件记忆法的工作原理是将刀库上的每一个刀座进行编号，得到每一刀座的“地址”。将刀库中的每一把刀具再编一个刀具号，然后在控制系统内部建立一个刀具数据表，将原始状态刀具在刀库中的“地址”一一填入，并不得再随意变动。刀库上装有检测装置，可以读出刀座的地址。取刀时，控制系统根据刀具号在刀具数据表中找出该刀具的地址，按优化原则转动刀库。当刀库上的检测装置读出的地址与取刀地址相一致时，刀具便停在换刀位置上，等待换刀；若欲将换下的刀具送回刀库，不必寻找刀具原位，只要按优化原则送到任一空位即可，控制系统将根据此时换刀位置的地址更新刀具数据表，并记住刀具在刀库中新的位置地址。这种换刀方式目前最为常用。

4. 快速调刀

在自动化生产中，为了实现刀具的快换，使刀具更换后不需对刀或试切就可获得合格的工件尺寸，进一步提高工作的稳定性和生产效率，往往需要解决无调整快速换刀和自动换刀问题，即将刀具连同刀夹在线外预先调好半径和长度尺寸，在机床更换刀具时不需要再调整，可大大减少换刀调刀时间。采用机夹不重磨式硬质合金刀片、快换刀夹、快速调刀装置及计算机控制调刀仪，是解决无调整快换刀具问题的常用方法。机夹不重磨刀片具有多个相同几何参数的刀刃。当一个刀刃磨损后，只需将刀片转过一定角度即可将一个新刃投入切削，不需要重新对刀。快换刀夹通常属于数控机床的通用工具系统部件，其柄部、接杆和夹头等的规格尺寸已标准化，并有很高的制造精度。刀具装夹于快换刀夹上并在线外预调好，加工中需换刀时连刀带刀夹一并快速更换。常用的快速调刀辅具及刀夹如图 8.5 所示。

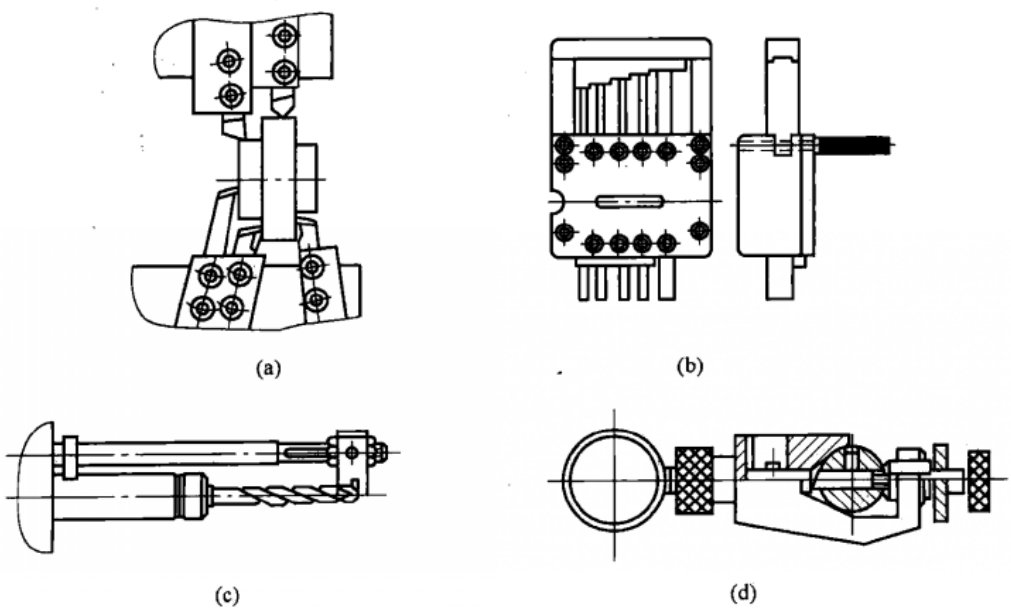


图 8.5 常用的快速调刀辅具及刀夹

(a) 用标准样件调刀；(b) 用样板调刀；(c) 用测量柱调钻头；(d) 用测量装置调镗刀；(e) 多刀快换式刀夹；(f) 线外多位式调钻头装置；(g) 孔加工刀具的调刀夹；(h)、(i) 成形刀调刀夹；(j) 切断刀调刀夹

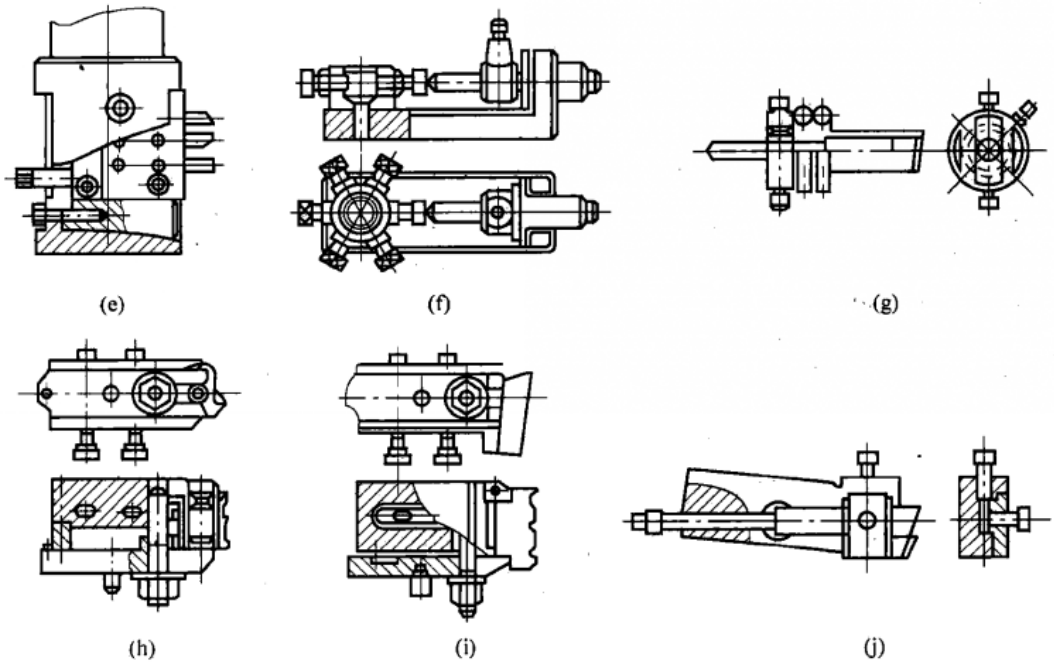


图 8.5(续)

柔性制造系统中为适应多品种工件加工的需要，所用刀具种类、规格很多，线外调刀采用计算机控制的调刀仪。调刀仪通过条形码阅读器读取刀具上的条码而获得刀具信息，然后将刀具补偿数据传输给刀具管理计算机，计算机再将这些数据传输给机床，机床将实时数据再反馈给计算机。另一种方式是刀柄侧面或尾部装有直径 6～10 mm 的集成块，机床和刀具预调仪上都配备有与计算机接口相连的数据读写装置，当某一刀具与读写装置位置相对应时，就可读出或写入与该刀具有关的数据，实现数据的传输。此外，在加工机床上需要进行对刀，有时也需要调刀。图 8.6 所示为一种电子对刀仪，由机床或其他外部电源通过电缆向对刀器供 5 V 直流电，经内部光电隔离，能在对刀时将产生的 SSR(开关量)或 OTC(高低电平)输出信号通过电缆输出至机床的数控系统，以便结合专用的控制程序实现自动对刀、自动设定或更新刀具的半径和长度补偿值，适用于加工中心和数控镗、铣床，也可以作为手动对刀器用于单件及小批量生产。

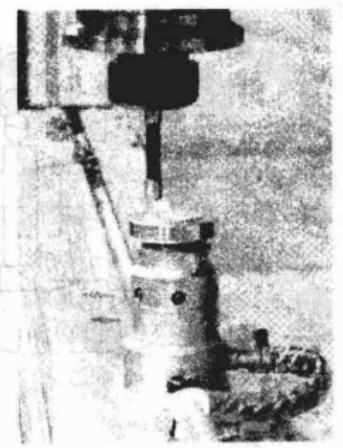


图 8.6 电子对刀仪

5. 自动选刀方式

自动换刀系统由刀库、自动换刀装置、刀具传送装置、刀具识别装置等部分组成。根据数控系统的选择指令，自动换刀系统从刀库中将各工序所需的刀具转换到取刀位置，称为自动选刀。自动选刀方式有以下两种。

(1) 顺序选刀方式

将所需刀具严格按工序先后依次插放在刀库中，使用时按加工顺序指令一一取用。采

用这种选择方式时，驱动控制较为简单，工作可靠，不需要刀具识别装置。这种选刀方式的缺点是刀库中的刀具数量不宜太多，且更换工件时，刀具顺序必须重排。

(2) 任意选刀方式

这种方式根据程序指令的要求选择所需要的刀具。刀具在刀库中可以不按加上顺序而任意存放，利用控制系统来识别、记忆所有的刀具和刀座。自动换刀时，刀库旋转，根据程序指令或根据刀具识别装置的识别，刀库将所需刀具送到换刀位置，等待换刀。该方法的优点是相同的刀具在工件一次装夹中可重复使用，刀具数量比顺序选择法的刀具可少一些，并且使自动换刀装置通用性增强，应用范围加大，因此得到了广泛应用。

8.3 刀架装置的功能及其基本要求

刀架装置是用于安装刀具进行切削加工，并可作移动或回转的部件。目前，机床正朝着在一次装夹中完成多工序加工的方向发展，因而机床刀架装置随之发生了许多变化，如数控机床多采用转位刀架，加工中心机床则采用刀库和自动换刀装置。刀库存储加工工序所需要的各种刀具，从十几把到上百把，并且自动换刀时间仅几秒甚至零点几秒。

机床刀架装置的基本要求如下：

① 满足加工工艺的要求，有足够的刀具存储量，能够方便正确地完成多种加工。

② 刚度高、可靠性高。刀架应有较高的刚度，满足加工精度要求；刀库和自动换刀装置应有足够的刚度，保证换刀平稳可靠。

③ 重复定位精度高、精度保持性好。在加工过程中，刀架需要经常转位或定位，刀架的重复定位精度要高，精度保持性要好。

④ 换刀时间短。应尽量缩短刀架转位时间和加工中心自动换刀时间，提高生产率。

⑤ 操作方便，换刀动作灵活。

刀架装置按其功能特征可分为普通机床刀架装置、数控机床刀架装置及加工中心刀架装置3种类型。

1. 普通机床刀架装置

普通机床刀架按其安装刀具的数目可分为单刀架和多刀架；按其结构型式可分为方刀架、转塔式刀架和回轮式刀架；按其驱动方式可分为手动转位刀架和自动转位刀架等。

2. 数控机床刀架装置

数控机床采用自动换刀装置，由于机床的配置型式不同，其换刀装置的结构型式也多种多样，但大多数采用电气或液压驱动。目前，除了自动换刀装置外，数控磨床的自动换砂轮、电加工机床的自动换刀模具等也在增多。数控车床的刀架装置主要是回转刀盘。回转刀盘是一种最简单的自动换刀装置，刀盘上安装8～12把刀，有的数控车床采用两个刀盘，进行四坐标控制。图8.7给出数控车床的几种回转刀盘型式。图8.7(a)是刀具与主轴中心平行的回转刀盘，回转刀盘2既有回转运动，又有纵向进给运动和横向进给运动。图8.7(b)是与主轴回转中心相倾斜的回转刀盘，有6～8个刀位，每个刀位可装两把刀，分别用于加工外圆和内孔。图8.7(c)采用两个刀盘，外刀盘1的回转中心平行于主轴中心线，用于加工外表面；内刀盘2的回转中心垂直于主轴中心线，用于加工内表面。图8.7(d)为具有两个同轴心的回转刀盘，刀盘回转中心与工件中心平行，外刀盘1的刀具用于加工外表面，内刀盘2的刀具用于加工内表面。

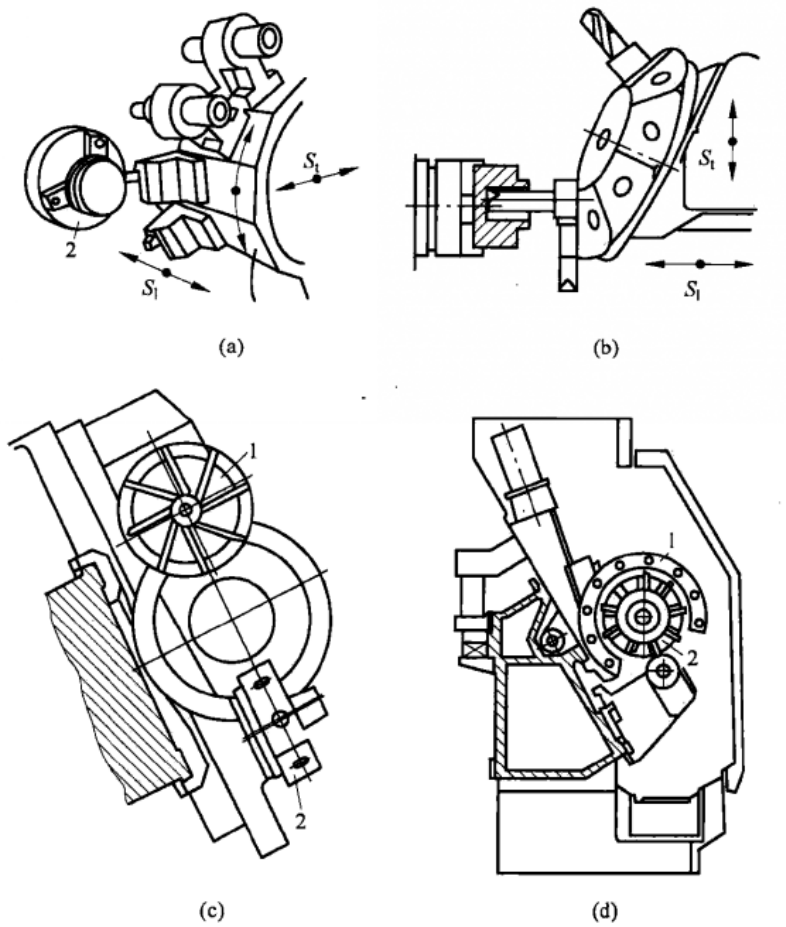


图 8.7 数控车床的自动换刀装置

1—外刀盘；2—内刀盘

3. 加工中心刀架装置

1）自动换刀装置类型

加工中心又称自动换刀数控机床，它是具有刀库，能自动更换刀具，对一次装夹的工件进行多工序加工的数控机床。加工中心的刀架装置主要是指带刀库的自动换刀装置，类型很多，常见的有如下几种类型。

（1）刀库式

刀库式按换刀方式可分为无机械手换刀、机械手换刀、机械手与刀具运送器换刀三种方式。无机械手换刀是刀库与主轴直接换刀，省去机械手，其结构简单，但刀库运动较多，主要用于小型加工中心；机械手换刀方式是刀库只作选刀运动，由机械手更换刀具，特点是布局灵活，换刀速度快，适用于各种加工中心；机械手和刀具运送器方式是当刀库距主轴较远时，用刀具运送器将刀具送至机械手，结构复杂，一般用于大型加工中心。

（2）成套更换方式

成套更换方式换刀装置的方式有更换转塔头、更换主轴箱或更换刀库。前两种分别用于扩大工艺范围的钻削中心和扩大柔性的组合机床。更换刀库可用于扩大加工工艺范围，充分提高机床利用率和自动化程度，主要用于加工复杂工件，需要很多刀具的加工中心或组

成高自动化的生产系统。

2）刀库类型

刀库的类型很多，其中典型的有鼓轮式刀库、链式刀库、格子箱式刀库和直线式刀库等，如图 8.8 所示。

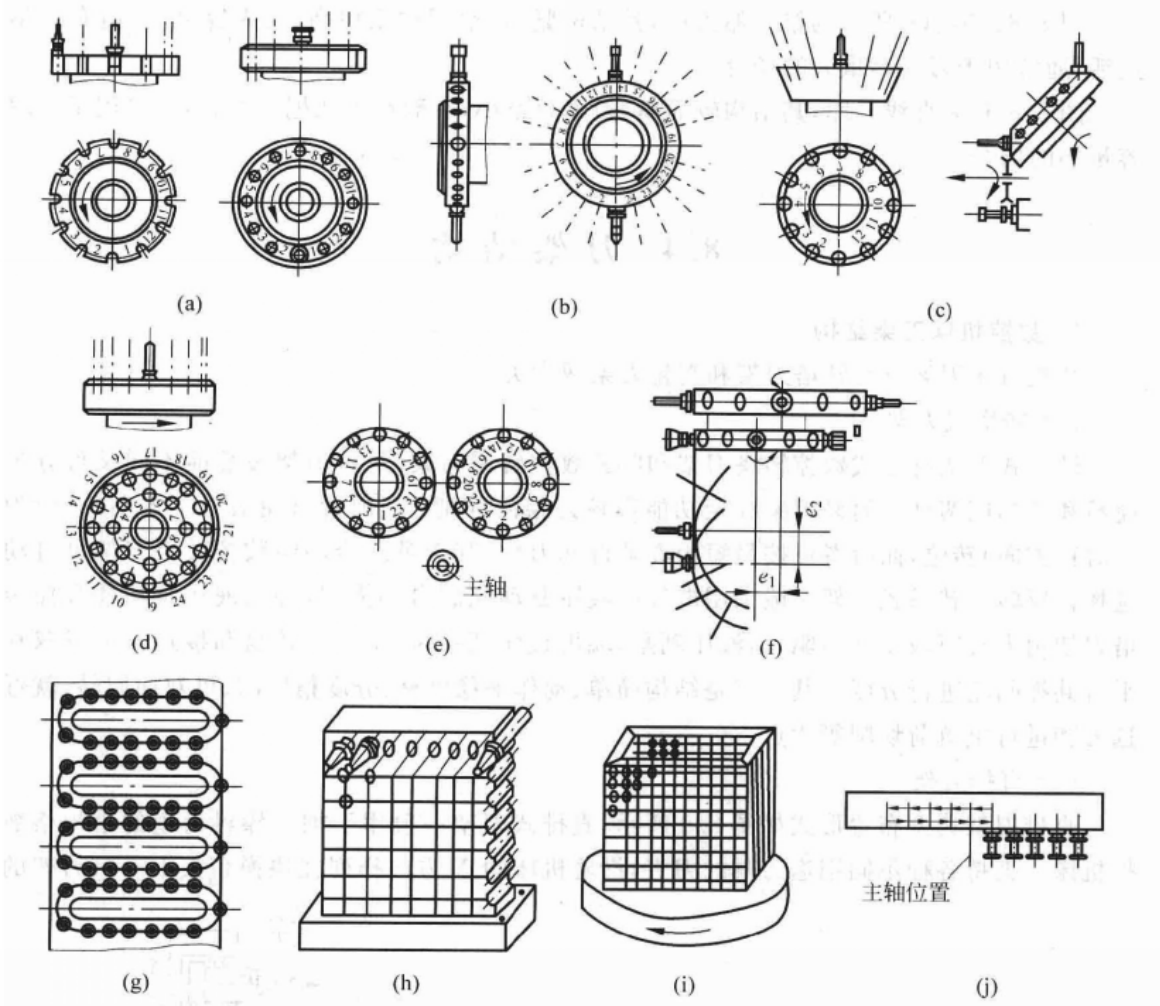


图 8.8 加工中心刀库的类型

鼓轮式刀库应用较广，它包括单鼓轮式和多鼓轮式刀库。单鼓轮式刀库有刀具轴线与鼓轮轴线平行、垂直和成锐角，刀具与鼓轮端面成环形排列等形式。图 8.8(a)为刀具与鼓轮轴线平行安装，图 8.8(b)为刀具与鼓轮轴线垂直安装，图 8.8(c)为刀具与鼓轮轴线成锐角安装。它们的优点是结构简单，但刀具单环形排列，空间利用率低，大容量刀库的外径较大，转动惯量大，选刀时间长；适用于刀库容量较小的场合。图 8.8(d)为刀具在鼓轮端面呈环形排列安装，可分为单环形排列和多环形排列，其刀具空间利用率高。前者适用于机床空间小而刀库容量较大的场合，后者适用于大容量刀库(一般为 60 把刀以上的刀库)。多鼓式分双鼓式和重叠双鼓式。图 8.8(e)为双鼓式，两个刀库分别配置在机床两侧，适合中小型加工中心。图 8.8(f)为重叠双鼓式，上刀库为小刀库，存储钻、锁和铰刀等，下刀库为大刀库，存储大型铣刀等。其结构复杂，适用于双主轴的大型加工中心。

链式刀库应用最为广泛，分为单环链式和多环链式刀库。图 8.8(g)所示为多环链式刀库，特点是容量大，占用空间小，选刀时间短，增加存储刀具数目时，可增加链条长度，而不增加链轮的直径，因此链轮圆周速度不会增加，刀库的运动惯量不像鼓轮式刀库那样大，适用于容量较大的刀库。

图 8.82(h)、(i)所示为格子箱刀库，其结构紧凑、空间利用率高、刀库容量大，但布局不灵活，通常用于刀库容量大的场合。

图 8.8(j)为直线刀库，其结构较简单，刀库容量小，一般在十几把刀左右，主要用于刀库容量小的场合。

8.4 刀架结构

1. 数控机床刀架结构

数控机床刀架分为转塔刀架和直排刀架两大类。

(1) 转塔式刀架

转塔式刀架有立式数控转塔刀架和卧式数控转塔刀架，每种刀架按性能不同又可分为简易和全功能两种。简易刀架和全功能数控刀架的区别是：前者只能沿一个方向(一般为逆时针方向)转位，而后者可按最短距离就近选刀位，其中卧式全功能数控转塔刀架可自动选择正反转。转塔式刀架一般采用电气或液压驱动完成自动换刀，卧式液压全功能数控转塔刀架由大转矩液压马达驱动，液压刹紧，端齿盘作精定位，采用计数盘和接近开关或双片平行共扼凸轮进行分度。其特点是结构简单、动作平稳可靠、分度精度高、可双向回转、就近选刀和进行重负荷切削等优点。

(2) 直排刀架

直排刀架典型布置形式如图 8.9 所示，直排式刀架一般用于加工棒料为主的小规格数控机床。夹持各种不同用途刀具的刀夹，沿着机床的 X 方向排列在快换台板上。该刀架的

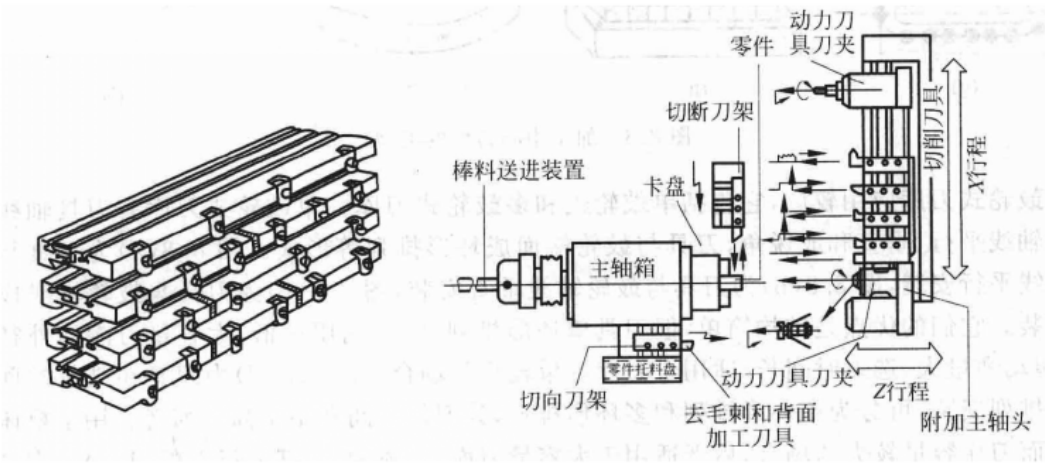


图 8.9 直排刀架与快换台板

(a) 快换台板；(b) 直排刀架

特点是刀具布置和机床换刀都比较方便，根据工件的车削工艺要求，可任意组合各种不同用途的刀具。当一把刀完成车削工作后，快换台板按程序沿 X 轴向移动到预先设定的距离，第二把刀就到达加工位置，完成机床换刀动作。这种刀架换刀迅速，大大提高了机床的生产效率。使用快换台板，可实现成组刀具的机外预调对刀。即当机床在加工某一工件的同时，利用快换台板可在机外组成加工同一工件或不同工件的直排刀组，利用对刀仪进行对刀。当刀具磨损或需要更换工件时，可用更换台板的方式来成组地更换刀具，使换刀的辅助时间大大缩短。在直排刀架上还可以安装不同用途的动力刀具，如附加主轴头和动力刀具刀夹来夹持刀具，完成钻、铣、攻螺纹等加工工序，使机床在工件的一次装夹中完成全部或大部分加工工序。这种刀架结构简单、加工方便、制造成本低，适宜加工回转直径小于 100 mm 的数控车床。

2. 刀架转位机构

刀架转位机构的作用是驱动刀架转到预定位置，以便刀架准确定位。刀架的转位方式有手动转位、液压(或气动)转位、圆柱凸轮步进式转位、电动机或伺服电动机驱动转位等。

(1) 手动转位机构

普通车床采用手动转位机构，由手柄、销子、端面凸轮等带动刀架转位，结构简单，操作方便。

(2) 液压(或气动)转位机构

液压驱动转位机构具有结构简单、转位速度可调、运动平稳可靠、维修方便等优点，因此应用较广泛。转位可以由液压缸活塞齿条带动齿轮使刀架转位，转位角度由挡块控制；也可以由液压马达及降速齿轮控制刀架转位，分度由接近开关和计数盘控制。转位机构也可以采用气动驱动，其特点是结构简单，但运动不平稳，有冲击，驱动力小，一般用于自动线转位装置。

(3) 圆柱凸轮步进式转位机构

如图 8.10 所示，刀架即回转盘 3 靠凸轮 1 轮廓强制作转位运动，运动规律取决于凸轮 1 的轮廓形状。从回转盘 3 下端装有若干个分度柱销 2，柱销 2 的数量与刀架工位数相同，柱销 2 靠凸轮 1 强制驱动。当凸轮按图 8.10 所示的回转方向转动时，B 销先进入凸轮曲线槽内，开始驱动回转盘 3 转位，与此同时，A 销脱离凸轮槽，当凸轮转过 180°时，转位动作终了，B 销从凸轮轮廓曲线段过渡到直线段；同时，与 B 销相邻的 C 销与凸轮的直线轮廓另一侧开始接触。此时，即使凸轮 1 继续回转，回转盘 3 也不会转动，因为 B 销和 C 销同时与凸轮直线轮廓的两侧面接触，限制了回转盘 3 转动。此时刀架处于预定位状态，转位动作结束。由于转位凸轮 1 是两端开口的非闭合曲线，凸轮正反转均可带动回转盘 3 作正反两个方向转动。圆柱凸轮步进式转位机构运动特性可根据需要自由设计，转位速度高，但精度低，制造成本较高。

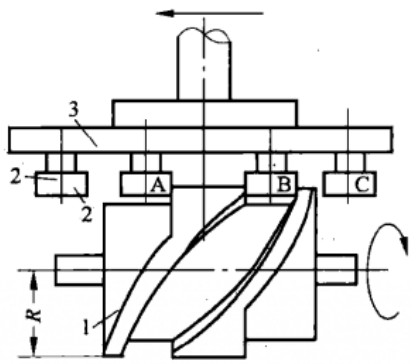


图 8.10 圆柱凸轮步进式转位机构

1—凸轮；2—分度柱销；3—回转盘

(4) 电动机或伺服电动机驱动转位机构

电动机驱动的数控转位刀架有立式和卧式两种类型，均采用数字信息指令控制转位。

伺服电动机一般通过驱动蜗杆、蜗轮实现刀架转位，转位速度和角度通过反馈实现控制，因此转位精度高。

3. 机床刀架定位机构

机床刀架的定位机构类型很多，常用的有圆锥销定位和端面齿盘定位。普通车床的刀架采用圆锥销定位，圆锥销靠弹簧力将其压入位孔中，实现定位。由于圆锥销磨损后仍可消除间隙，因此可获得较高的定位精度。端面齿盘定位由相同的上下两个端面齿盘啮合组成，其定位精度高、刚性好、磨损小、使用寿命长，广泛应用于数控机床刀架和夹具的分度定位中。

4. 数控机床刀架的选用

目前我国能够生产各种数控车床刀架，可以从中选取经济、适用的刀架，选用刀架时应考虑下述问题。

① 经济型数控车床一般选用 4 工位或 6 工位的立式数控转塔刀架。

② 全功能数控车床通常选用 8、10、12 工位卧式电动或液压数控转塔刀架，卧式液动转塔刀架应用较多。其刀架通过大转矩液压马达驱动，采用端齿盘副作精分度元件或双片平行共轭凸轮进行分度，借助液压油缸松开、夹紧，并在译码、检测等环节上设计严密的逻辑控制。

③ 最大回转直径小于 100 mm 的数控机床宜选直排式刀架。

④ 其他因素主要有驱动刀架的动力源(电动和液动)，刀架的刹紧方式(机械和液压的)，刀架发信号的方式(机械压微动开关和无触点接近开关)等。

8.5 自动换刀装置

1. 自动换刀装置的构成及工作原理

自动换刀装置由刀库、机械手及相应的控制系统组成，通常有两种方式。

1) 转塔头自动换刀装置

转塔头自动换刀装置可分为水平转轴式和垂直转轴式两种，图 8.11 所示为具有 8 根主轴的水平转轴式自动换刀装置。转塔头绕水平轴转位，只有处于最下端的主轴才能与机床主传动系统接通进行切削加工。该工步加工完毕后，由指令控制转塔头转过一个或几个位置，实现自动换刀，转入下一工步。这种换刀装置结构简单，换刀迅速；但每把刀具都需一根主轴，所以储存刀具数量较少(一般为 6～8 把)，仅适用于简单工件加工。

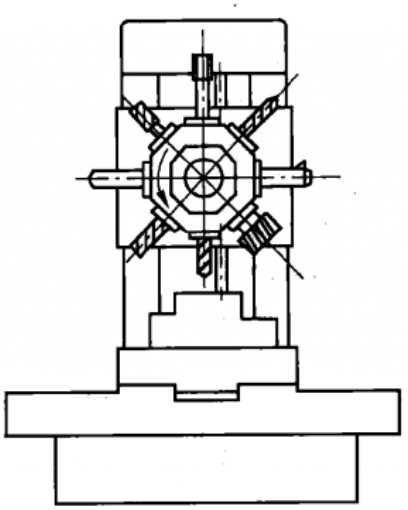


图 8.11 水平转轴转塔头自动换刀装置

2) 带刀库的自动换刀装置

带刀库的自动换刀装置应用最广泛，它由刀库和刀具交换机构组成。实现刀具在刀库与机床主轴间传送和装卸的机构称为刀具交换机构，它分为无机械

手和有机械手的自动换刀。

(1) 无机械手的自动换刀

这种自动换刀装置在结构上只有一个刀库，是利用机床本身与刀库的运动实现换刀。换刀时必须先将用完的刀具送回刀库，然后从刀库取出待加工用的刀具。换刀时送刀和取刀的两个动作不能同时进行。图 8.12 所示为立式数控机床无机械手的自动换刀装置。刀库的旋转由伺服电动机经齿轮、蜗杆、蜗轮带动，由定位销精确定位，其刀库结构如图 8.13 所示。无机械手自动换刀的刀库结构简单，换刀运动易于实现，可靠性高，但将用过刀具送回刀库和从刀库取出新刀具这两个动作不能同时进行，换刀时间较长(10～20 s)，且刀库容量有限，一般适用于中、小型加工中心。

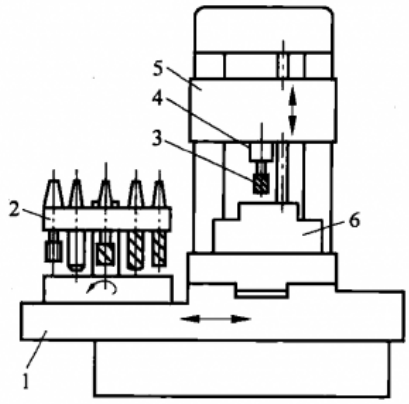


图 8.12 无机械手自动换刀装置

1—工作台；2—刀库；3—刀具；4—主轴；5—主轴箱；6—工件

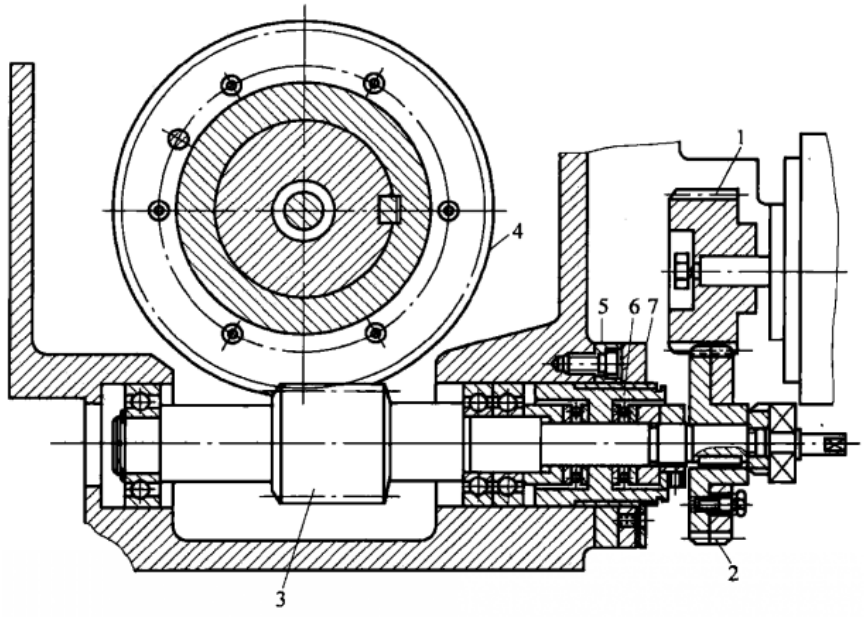


图 8.13 刀库转位机构

1、2—齿轮；3—单头双导程蜗杆；4—蜗轮；5—压盖；6—轴承套；7—锁紧螺母

(2) 有机械手的自动换刀

加工中心换刀机械手的种类繁多，图 8.14 所示为采用单臂双爪式机械手的自动换刀装置简图。盘形刀库 1 倾斜安装在机床的立柱上，其最下端刀具的位置为换刀位置。自动换刀过程如下。

① 机床加工时，刀库 1 按指令将准备更换的刀具转换到换刀位置；

② 上一工步结束时，主轴 4 准停，主轴箱 3 退回原点准备换刀；

③ 机械手 2 由水平位置逆时针回转 90°，机械手两爪同时抓住刀库中待更换的刀具与主轴上的刀具后，沿轴向外移，将两把刀具分别从刀库和主轴中拔出；

④ 机械手顺时针回转 180°，然后沿轴向里移动，将被交换的刀具分别插入主轴和刀

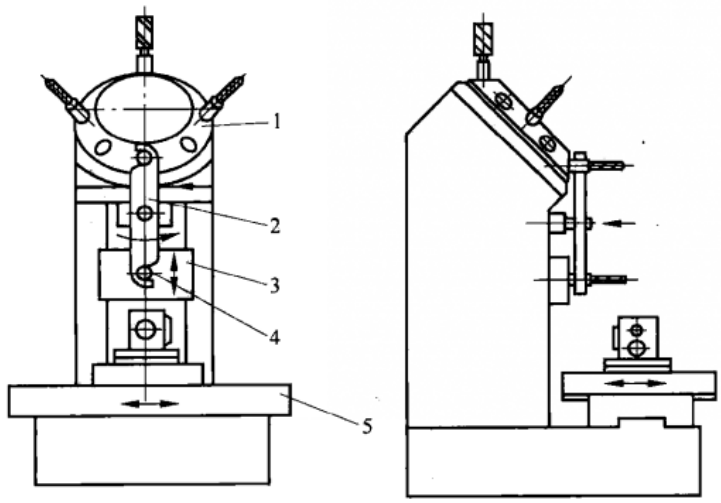


图 8.14 单臂双爪式机械手的自动换刀装置简图

1—刀库；2—机械手；3—主轴箱；4—主轴；5—工作台

库中；

⑤ 机械手逆时针回转 90°，返回到初始位置。

机械手自动换刀装置，换刀时间短，换刀动作灵活，是目前加工中心采用最多的一种形式。

2. 链式刀库

(1) 链式刀库的结构与换刀位置

链式刀库由主动链轮、导向轮、带有刀套的链条和回零撞块等组成，图 8.15 为方形链式刀库的典型结构示意图。主动链轮由直流伺服电动机通过蜗轮减速机构驱动(根据结构需要亦可增加齿轮副传动)。导向轮一般做成光轮，圆周表面硬化处理。左侧两个导向轮兼作张紧轮。调整回零开关的位置，可使刀套准确地停在机械手抓刀位置上，回零撞块可装在链条上，便于调整到任意位置上。刀库可以逆时针回零，也可以顺时针回零，但一种刀库只能从一个方向回零。从刀套的定位刚性考虑，链式刀库的换刀位置应设在主动链轮上，或者尽可能靠近主动链轮的刀套处。

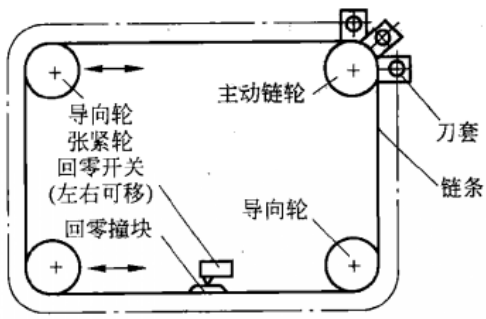


图 8.15 链式刀库的结构

(2) 链式刀库形式

链式刀库的形式很多，图 8.16 所示为由 SK 型悬挂式链条组成的几种链式刀库。由于受链条结构的限制，这种刀库只能是刀套“外转型”。当组成方形刀库时，不能利用中间空间。

图 8.17 所示为由 HP 型套筒式链条组成的 3 种刀库。这种刀库在刀套“内转”时，不会发生刀套之间的干涉，刀库空间利用率比悬挂式高。

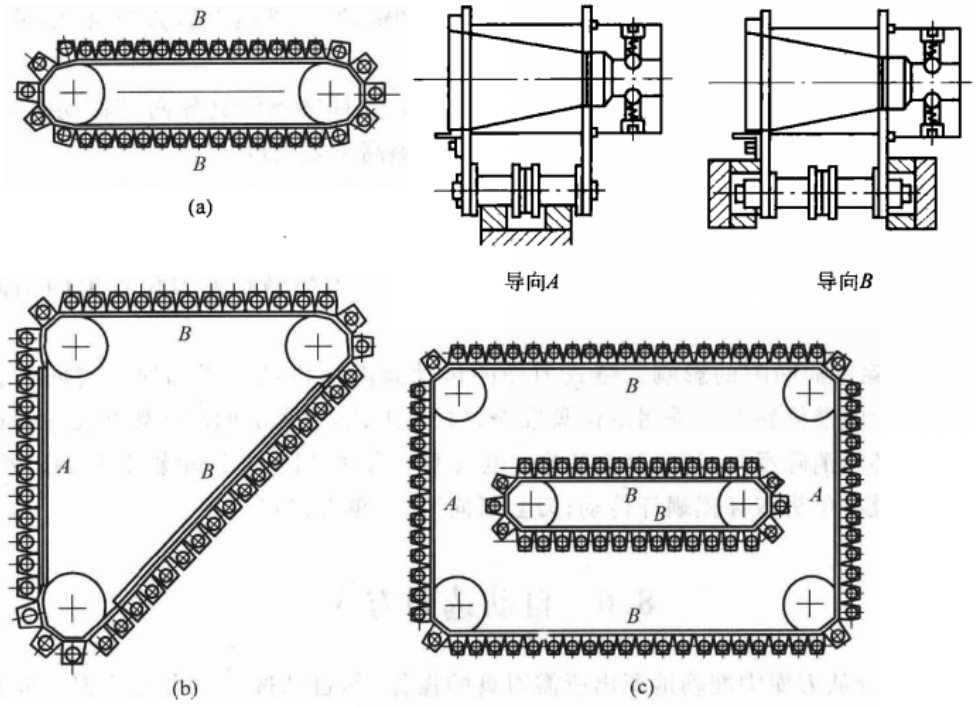


图 8.16 SK 型悬挂式链条链式刀库

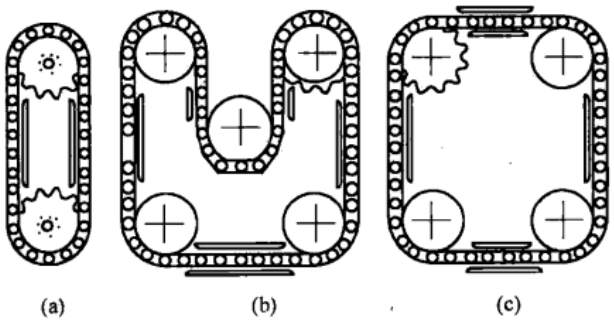


图 8.17 HP 型套筒式链条链式刀库

3. 刀套准停

为实现换刀动作可靠，必须确保刀套准确地停止在换刀位置上，通常采取下列措施：

(1) 采用定位盘准停方式。这种准停方式如图 8.18 手爪所示，定位销(由液压缸推动)插入定位盘的定位槽内，实现刀套的准停。定位盘上的定位槽(或定位孔)的节距要相同，每个定位槽都对应一个相应的刀套。这种准停方式的优点如下：

① 有效地消除传动链反向间隙的影响；

② 传动链不受换刀撞击力；

③ 驱动电动机不需采用制动自锁装置。

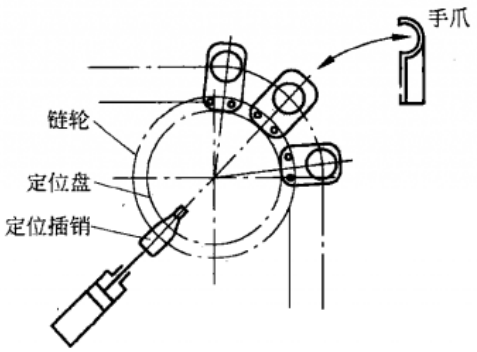


图 8.18 链式刀库换刀

(2) 链式刀库要选用节距精度高的套筒滚子链和链轮,往链条上装刀套时,要采用专用夹具定位,确保刀套间距一致。

链式刀库需加导向轮(张紧轮),如图 8.15 所示。这样链条沿其导向槽移动时,可防止链条运动时的抖动,保证刀库和回零开关工作可靠,提高重复精度。

(3) 圆盘式刀库宜采用单头双导程蜗杆传动,同时应尽量提高刀套在圆周上的等分精度和刀套的径向位置精度。刀套需要翻转的刀库,还要保证每个刀套翻转角度相同。

(4) 尽量减小刀套孔径和轴向尺寸的分散度,提高刀柄槽在换刀位置上的轴向位置精度。

(5) 要消除反向间隙的影响。链式刀库的传动间隙随机械磨损和使用时间增长而增大,会影响刀套的准停精度。采用定位盘准停方式的刀库,过大的间隙将影响定位盘的正常工作。因此,必须消除反向间隙,其方法有:电气系统自动补偿;在链轮轴上装编码器,对链轮传动进行补偿;单头双导程蜗杆传动;刀套双向运行,单方向定位等。

8.6 自动选刀方式

按程序指令从刀库中准确地调出所需刀具的操作,称自动选刀。自动选刀主要有以下两种方式。

1. 顺序选刀方式

顺序选刀方式是按照加工工艺顺序,依次将刀具插入刀库的每一个刀套内,刀具插放顺序不能错,换刀时,将使用过的刀具放回原刀套。这种刀库不需刀具识别装置,但同一工序不同工步的相同刀具不能重复使用,增加了刀具数量,而且更换工件时,必须重新排列刀库中刀具的顺序。

2. 任意选刀方式

目前大多数加工中心都采用任意选刀方式换刀,主要有刀具编码、刀套编码和软件随机选刀等方法。

1) 刀具编码方法

刀具编码方法是对每把刀具进行编码,换刀时通过编码识别装置,在刀库中找出需要的刀具。由于每把刀具都有自己的代码,刀具可以存放在刀库中任何一个刀套中,这样刀库中的刀具在不同的工序中可重复使用,换下的刀具不一定放回原来的刀套中。这样既减小刀库容量,又避免由于刀具在刀库中顺序的差错所造成的事故。

刀具识别装置通常采用以下两种。

(1) 接触式刀具识别装置

接触式刀具识别装置固定在刀库上,刀具夹头上装有两种不同直径编码环,大直径的环表示二进制的“1”,小直径表示“0”。当刀库带动有编码环的刀具依此通过编码识别装置时,大直径编码环与触针接触,对应代码为“1”,小直径编码环与触针不接触,对应代码为“0”。当读出的代码与所需刀具代码一致时,控制装置发出信号,刀库停止转动,所需刀具即停止在换刀位置上。接触式刀具识别装置结构简单,但寿命短,可靠性差,不能

快速选刀。

(2) 非接触式刀具识别装置

非接触式刀具识别装置不发生机械接触，具有寿命长、结构简单、换刀快等优点，有磁性识别和光电识别两种方式。

磁性识别方式是利用磁性材料和非磁性材料磁感应的强弱不同，通过感应线圈读取代码实现的。直径相同的编码环装在刀具夹头上，磁性材料(如软钢)编码环代表“1”；非导磁材料(如黄铜或塑料)代表“0”。当编码环通过线圈时，对应软钢编码环的那些绕组感应出高电位，其余绕组则为低电位，利用感应电压的大小，可识别刀具的编码。

光电识别方式的原理如图 8.19 所示。链式刀库带着刀座 1 和刀具 2 依次通过刀具识别位置Ⅰ时，投光器 3 通过光学系统将刀具外形及编码环投影到屏板 5(由无数光敏元件组成)上，并在其上形成刀具图样。装刀时，屏板 5 将每一把刀具的图样转变为对应的脉冲信号，经信息处理后存入存储器中。选刀时，当某一把刀具在屏板 5 上出现的“信息图样”与存储器中某刀具的“信息图样”一致时，控制装置发出信号，该刀具便停在换刀位置Ⅱ上，机械手 4 将该刀取出。这种识别系统，既能识别编码，又能识别图样，有很多优点，但系统价格昂贵。

2) 刀套编码方法

刀套编码方法是对刀套、刀具分别编码，并将刀具放入与其编码相同的刀套中，然后根据刀套的编码选取刀具。这种编码方法取消了刀柄上的编码环，刀柄结构大大简化，使识刀装置可安装在较合理的位置。但换刀时，必须将用过的刀具放回原来的刀套内，否则会造成事故。与顺序选刀方式比较，刀套编码的优点是在加工过程中刀具可以重复使用。圆盘形刀库的刀套编码装置如图 8.20 所示。刀套均布在刀库圆盘的圆周上，圆盘的外侧装有与刀套编码相对应的编码块 1，刀套识别装置 2 固定在刀库的下方。刀套识别原理同刀具编码识刀相同。

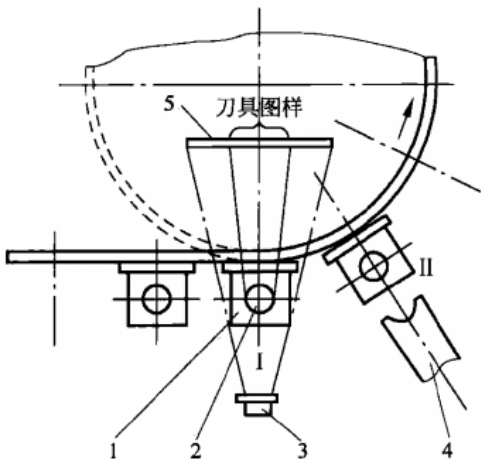


图 8.19 光电识别原理

1—刀座；2—刀具；3—投光器；4—机械手；5—屏板

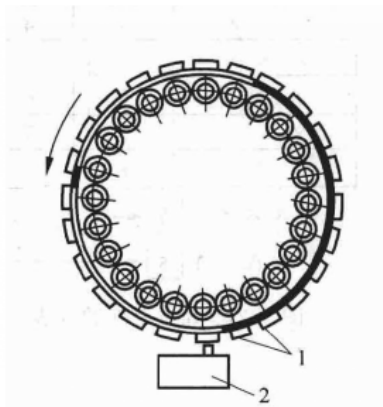


图 8.20 圆盘形刀库识别装置

1—编码块；2—识别装置

3）软件自动选刀

目前自动换刀装置主要采用软件(如可编程控制器，即 PC 的梯形图等)实现自动选刀与换刀，刀库中的刀具和主轴中的刀具可以任意地进行交换。主轴上换下来的新刀号及刀库中的刀具号都存储在 PC 相应的存储单元中。为实现自动选刀与换刀，需在 PC 内部设置一个数据表，并预先把刀库的位置数、刀具号等寄存在数据表中，图 8.21 所示为刀库有 8 个刀套的数据表。数据表中的序号与刀库刀套编号相对应，由于刀具本身不带编码环，刀具编号可以任意设定，如表中 1～8 号。一旦给某把刀编号后，这个编号不可随意更改。

通过数控系统内置 PC 的软件实现选刀与换刀，当 CNC 系统得到 T6 指令代码信号后，将此信号送入 PC，经一段延时后，开始 T 代码检索，将需要的新刀号从数据表中检索出来，如下一段加工需要使用 5 号刀，把 5 号刀检索出来后并将刀号 5 以 2 位 BCD 码的形式存入某一地址单元，同时将检索出来的 5 号刀所在数据表中的序号 5 也以 2 位 BCD 码输出到另一地址单元中。然后进行刀位一致性判别，当存放新刀具地址单元内数据与存放正使用刀具地址单元数据不一致时，将启动刀库回转，根据旋转控制指令，计算出刀库现在位置与目标位置相差步数，选择出最短旋转捷径。假定机床正使用的刀号是 8，驱动刀库反转 3 步找到 5 号刀位，CNC 系统发出指令，机械手将主轴上用过的刀具和刀库上选好的新刀进行交换。同时修改原使用刀具号地址内容，为下一次选刀做准备。当 T 功能完成，信号 TFIN＝1 时，报告 T 功能已完成。其选刀流程图如图 8.22 所示。

数据表地址	序号	刀号
× × ×	1	1
× × ×	2	2
× × ×	3	3
× × ×	4	4
× × ×	5	5
× × ×	6	6
× × ×	7	7
× × ×	8	8

× × × × 5

Δ Δ Δ Δ 5

图 8.21 8 位刀库数据表

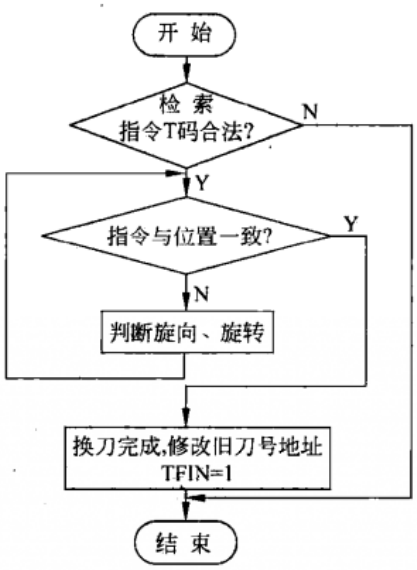


图 8.22 PC 软件选刀流程图

8.7 换刀机械手

多数加工中心采用机械手进行刀具自动交换，这是因为机械手换刀有很大的灵活性，而且可以减少换刀时间。机械手有多种结构型式，换刀运动也各不相同。

(1) 单臂单爪摆动式机械手

图 8.23 是做摆动运动的单臂单爪式机械手，手臂可以回转不同的角度进行换刀，手臂上只有一个夹爪，不论刀具在刀库上或在主轴上，均靠一个夹爪进行装刀和卸刀，换刀时间较长，适合于刀座轴线与主轴轴线平行的场合。

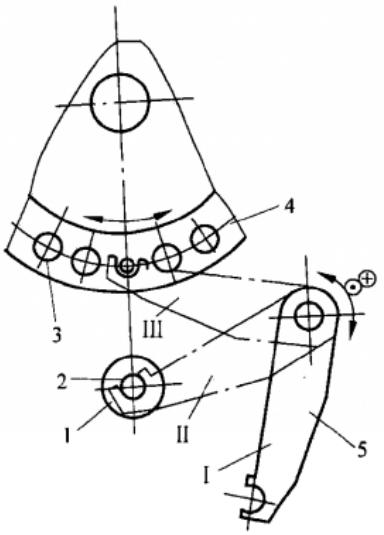


图 8.23 单臂单爪摆动式机械手

1—机床主轴；2—旧刀；3—新刀；4—刀库；5—机械手

(2) 单臂双爪回转式机械手

如图 8.24 所示，手臂上有两个夹爪。一个夹爪执行从主轴上取下用过的旧刀并送回刀库的工作；另一个夹爪则执行将从刀库取出的新刀送到主轴上的工作，它是目前加工中心采用较多的一种方式。刀库刀座轴线可以与主轴轴线平行安装，也可以与主轴轴线垂直安装。

手臂和刀爪结构如图 8.24 所示。机械手的拔刀、插刀动作靠液压缸驱动来完成，手臂的回转运动通过活塞推动齿条齿轮来实现。手臂的回转角度通过控制活塞的行程来保证。使用这种由液压缸活塞驱动的机械手应注意以下几个问题：

① 液压缸活塞的密封不要过紧，否则会影响机械手的正常动作，要保证液压缸既不漏油，又动作灵活。

② 机械手的每个动作结束之前均需要设置缓冲机构，以保证机械手的工作平稳、可靠。缓冲机构可以是小孔节流、针阀、楔形斜槽或外接节流阀等。

③ 尽量减小机械手的惯量，以使机械手工作平稳。

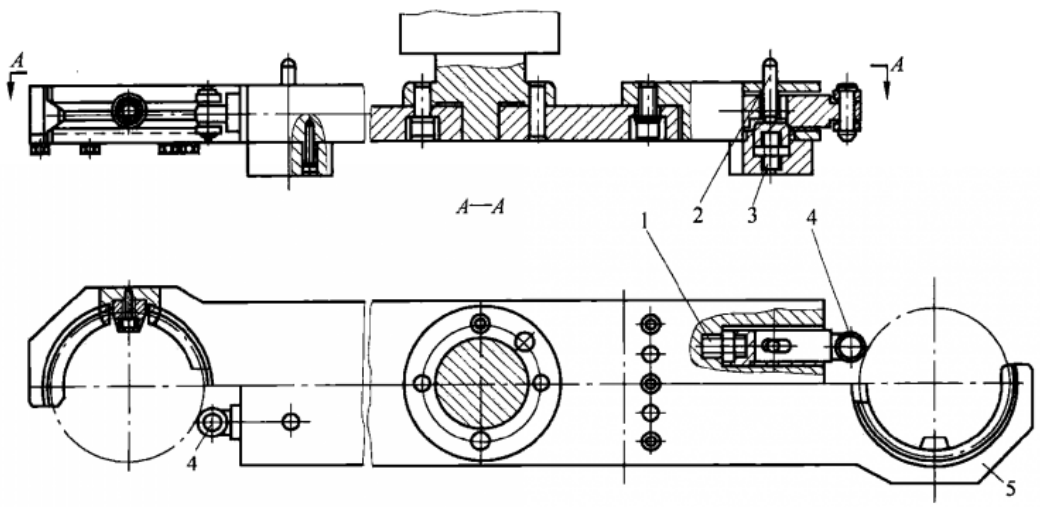


图 8.24 单臂双爪机械手臂和刀爪

1—弹簧；2—锁紧销；3—弹簧；4—活动销；5—固定爪

(3) 双臂单爪交叉式机械手

双臂单爪交叉式机械手如图 8.25 所示，1 为具有四排链的链式刀库，机械手装在支架

2 上。换刀时，机械手刀架 5 由马达 7 驱动沿两根圆柱导轨 3 垂直移动，并可停留在四排刀链的任一个换刀位置上。为了在刀库和主轴上装卸刀具，刀架 5 可转 180°，并由平滑板带动沿刀具轴线方向作直线移动，同时装刀机械手 6 和卸刀机械手 4 可在刀架 5 上沿自身导轨作直线往复移动，以装卸刀具。

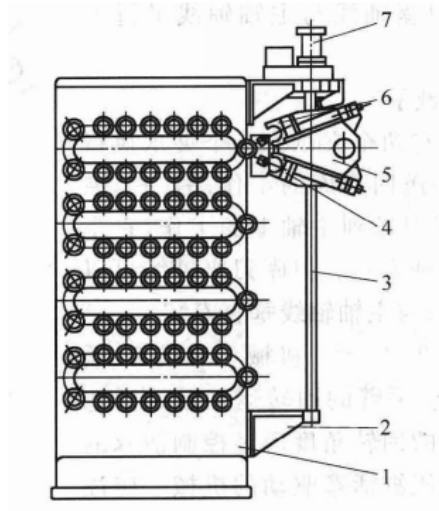
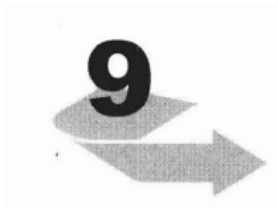


图 8.25 双臂单爪交叉式机械手

1—刀库；2—支架；3—导轨；4—卸刀机械手；5—刀架；6—装刀机械手；7—马达



搬运机器人

9.1 概　述

20世纪60年代出现了自动控制的可以实现多种操作的工业机器人。工业机器人发展非常迅速，模仿人的功能的能力越来越强，已经开始出现具有学习和推理能力的智能机器人。从模仿人的功能意义上来看，也可以把机械手、操作机和工业机器人统称为“工业机器人”。目前世界各国对工业机器人还没有一个统一的定义。我国GB/T 12643—1997《工业机器人词汇》将工业机器人定义为“是一种能自动控制、可重复编程、多功能、多自由度的操作机，能搬运材料、工件或夹持工具，用以完成各种作业”，将操作机定义为“具有和人手臂相似的动作功能，可在空间抓放物体或进行其他操作的机械装置”。

1. 工业机器人的基本工作原理

工业机器人是一种生产装备，其基本功能是提供作业所须的运动和动力，其基本工作原理是通过操作机上各运动构件的运动，自动地实现手部作业的动作功能及技术要求。因此在基本功能及基本工作原理上，工业机器人与机床有相同之处：二者的末端执行器都有位姿变化要求，如机床在加工过程中，刀具相对工件有位姿变化要求，机器人的手部在作业过程中相对机座也有位姿变化要求；二者都是通过坐标运动来实现末端执行器的位姿变化要求。

二者的主要不同之处有：机床是按直角坐标形式运动为主，而机器人是按关节形式运动为主；机床对刚度、精度要求很高，其灵活性相对较低；而机器人对灵活性要求很高，其刚度、精度相对较低。

2. 工业机器人的构成及分类

1）工业机器人的构成

如图9.1，工业机器人由以下几部分组成。

(1) 操作机

操作机是机器人的机械本体，也可称为主机。通常由末端执行器（又称手部）、手腕、手臂（又可分为大臂和小臂）及机座（又称机身或立柱）组成。操作机具有和人手臂相似的动作功能，其运动功能与机床一样，一般也是由各个运动单元串联组成（也有一些机器人操作机采用并联运动机构或串-并联复合运动机构）。为了用简洁的符号来表

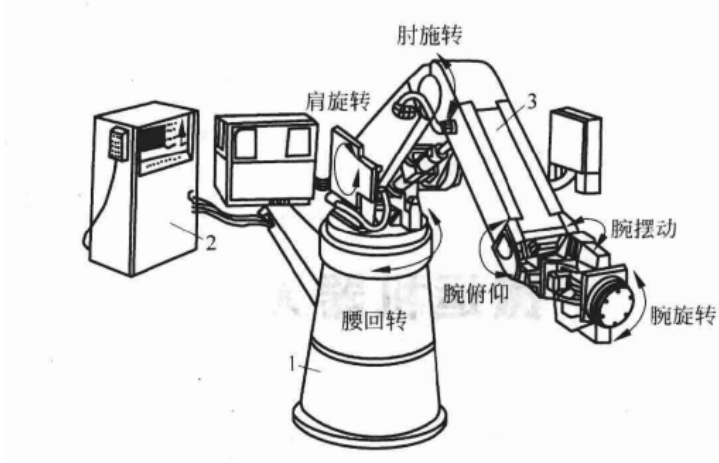


图 9.1 工业机器人系统的组成

1—机座；2—控制装置；3—操作机

达机器人的各种运动，GB/T 12643—1997 中规定了机器人各种运动功能的图形符号，如表 9.1 所示。利用这些符号可以简明地绘出工业机器人的运动功能简图。如图 9.2(a)为 PUMA 机器人的结构简图，图 9.2(b)为其运动功能简图。

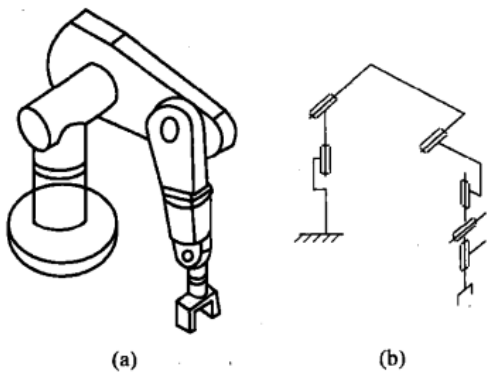


图 9.2 PUMA 机器人操作机

(a) 结构简图；(b) 运动功能简图

(2) 驱动单元

驱动单元由驱动装置(如电动机、液压或气压装置)、减速器和内部检测元件等组成，为操作机各运动部件提供动力和运动。

(3) 控制装置

控制装置由检测和控制两部分组成，用来控制驱动单元、检测其运动参数并进行反馈。

2) 工业机器人的分类

(1) 按机械结构类型分类

工业机器人的机械结构可分为以下 4 类。

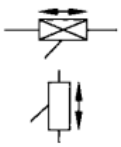
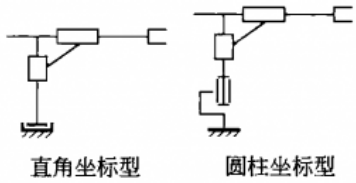
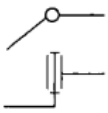
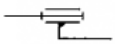
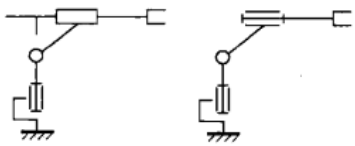
① 关节型机器人(图 9.3(a))，所谓关节就是运动副，由于关节型机器人的动作类似人的关节动作，故将其运动副称为关节。一般的关节指回转运动副，但关节型机器人中有时也包含有移动运动副，为了方便，可统称为关节，包括回转运动关节和直线运动关节。关节型机器人的特点是灵活性好，工作空间范围大(同样占地面积情况下)，但刚度和精度较低。

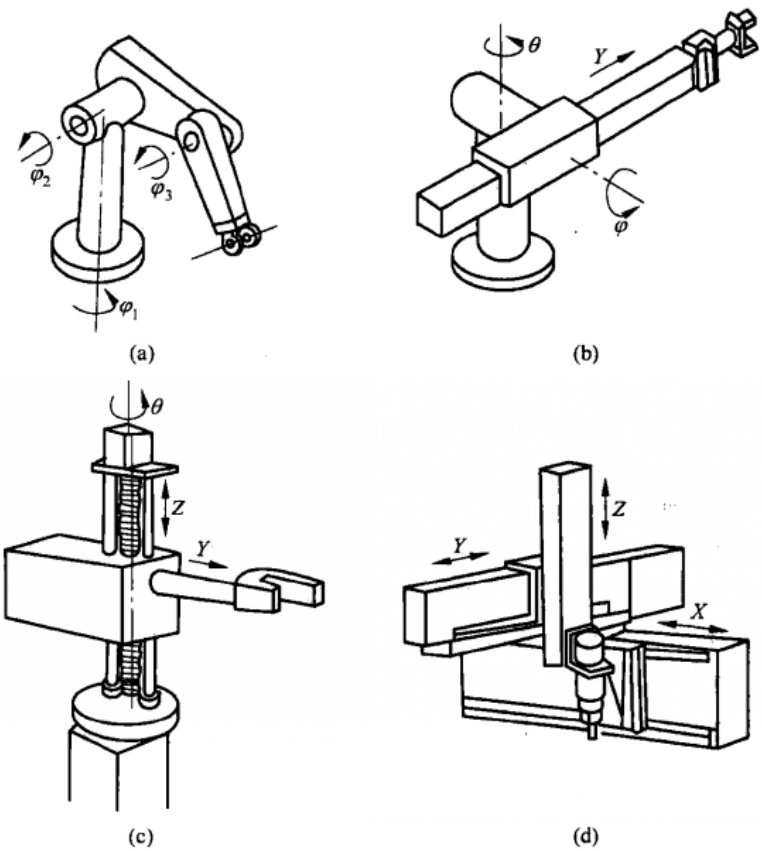
③ 球坐标型机器人(图 9.3(b))，又称极坐标型，按球坐标形式动作(运动)。其特点是灵活性好、工作空间范围大，但刚度及精度较差。

③ 圆柱坐标型机器人(图 9.3(c))，按圆柱坐标形式动作，其特点是灵活性较好，工作空间范围较大，刚度、精度较好。

④ 直角坐标型机器人(图 9.3(d))，与机床相似，按直角坐标形式动作。刚度和精度高，但灵活性差，工作空间范围小。

表 9.1 工业机器人运动功能图形符号(GB/T 12643—1997)

名 称	图形符号		工业机器人结构简图
	正 视	侧 视	
移动副			 直角坐标型 圆柱坐标型
回转副			
螺旋副		—	 球坐标型 关节型
球面副		—	
末端执行器		—	
机座		—	



(a) (b) (c) (d)

图 9.3 机器人的机械结构类型

(a) 关节型;(b) 球坐标型;(c) 圆柱坐标型;(d) 直角坐标型

利用上述方法，图 9.4 所示机器人坐标系的取法如图 9.5(b)所示。

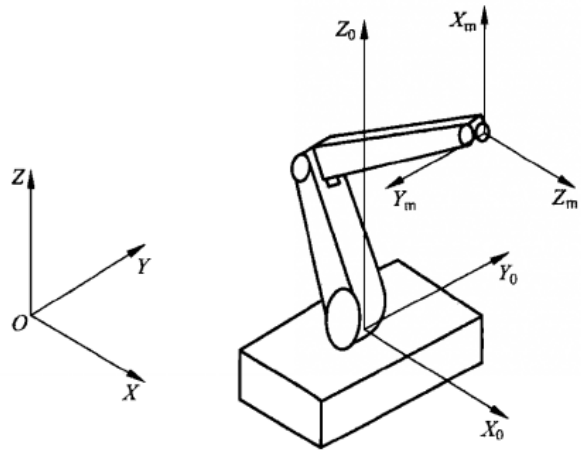


图 9.4　工业机器人的坐标系

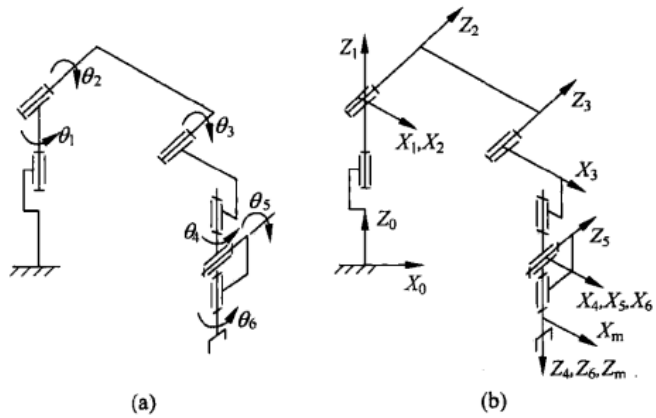


图 9.5　PUMA 机器人的坐标系

(a) 基准状态；(b) 坐标系

(2) 机械结构类型特性表示方法

机器人的机械结构类型特征用它的结构坐标形式和自由度数表示。关于结构坐标形式已在机器人分类中作了叙述。自由度是表示工业机器人动作灵活程度的参数，以直线运动和回转运动的独立运动数表示(一般末端执行器本身的动作不包括在内，如夹持器手爪的开合运动，因为它不影响夹持器的位姿特性)。可以看出机器人的自由度数相当于机床的轴数，都表示运动的个数。例如具有三个自由度的机器人称为三自由度机器人，从运动功能上看，也可以把它称为三坐标机器人，或三轴机器人。工业机器人的自由度越多，灵活性越好，但结构和控制越复杂。一般来说，机器人的自由度数与原动件数目相等。

(3) 工作空间

工作空间指工业机器人正常运行时，手腕参考点(也可以用机械接口坐标系原点)能在空间活动的最大范围。它用来衡量机器人工作范围的大小。机床的工作空间(加工空间)一

般为长方体或圆柱体空间；而机器人的工作空间形状复杂（见图 9.6）。

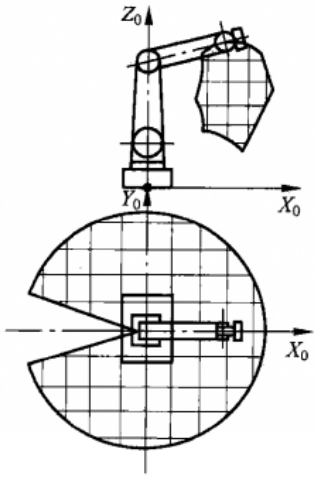


图 9.6 机器人的工作空间

（4）其他特性

其他特性包括用途、外形尺寸和质量、负载、速度、驱动方式和动力源、控制、编程方法、性能、分辨率及环境条件等。

3. 物流机器人的应用背景与技术要求

装配、装卸和搬运是物流的功能要素之一，在物流系统中发生的频率很高，并占据物流费用的重要部分。传统的物体装配、工件搬运和存取等工作都需要搬运工人根据物体的分类进行搬运和存取。对于一般的零件装配，工人操作有其合理性，因为人的判断远比机器复杂和高深，而对于物体的搬运和存取，特别是对于众多物体的搬运和存取，人的能力就显得极为有限。特别是对于一些重复性高、劳动强度大的搬运及存取等工作，人就显得更为不适。因此，国外从 20 世纪 30 年代开始，逐步在零件装配等行业应用了机器人，而在 50 年代开始应用一种柔性化和智能化的物流搬运机器人，目前在存储、制造业、港口、码头都已经得到了广泛地应用。

这种机器人的技术要求并不复杂，主要包括以下几种要求。

① 感知，即实现基本的物体识别功能，它包括大量的对各种状况进行识别的传感器等。

② 操作，即动作实现。比如在装配系统中，要求销和孔的完好装配；在搬运中，要求在携带物体的运动中，要实现拾取、夹持及放下等控制系统。

③ 思维，即内部的运算等功能，也包括与外界的交互功能。机器人如同人类，针对外界的情况进行运算，它也离不开对外界系统的依赖，它通过与外界系统的联系来取得新的控制指令、汇报操作的结果等。机器人依靠运算的结果来发出运动控制、各个动作的协调等。

9.2 物流机器人的一般组成

物流机器人的组成与一般的机器人的组成没有太大的差别，也由三部分构成：机器人机械本体，相当于人的躯体；机器人的控制系统，相当于人的大脑；机器人内、外部接口，相当于人对于外部命令的接受及反应。

1. 机器人机械本体

机器人的机械本体是机器人完成作业的实体，它具有和人手臂相似的动作功能，是可以在空间抓放物体或进行其他操作的机械装置，通常由以下几部分组成。

（1）末端执行件

末端执行件又称手部，是操作机直接执行工作的装置，并可设置夹持器、工具传感器等，是工业机器人直接与工作对象接触以完成作业的机构。

（2）手腕

手腕是支承和调整末端执行器姿态的部件，主要用来确定和改变末端执行器的方位和

扩大手臂的动作范围，一般具有 2～3 个回转自由度以调整末端执行件的姿态。有些专用机器人没有手腕而直接将末端执行件安装在手臂的端部。

(3) 手臂

手臂由操作机的动力关节和连接杆件等组成，是用于支承和调整手腕与末端执行器位置的部件。手臂有时不止一条，而且每条手臂也不一定只有一节(如关节型就可能有很多节)，所以，它有时还应包括肘和肩的关节，即手臂和手臂间、手臂与机座间用关节连接，因而扩大了末端执行件姿态的变化范围以及运动范围。

(4) 机座

机座有时又称为立柱，是工业机器人机构中相对固定并承受相应的力的基础部件。可分为固定式和移动式两类。移动式机座下部安装移动机构，它可以扩大机器人的活动范围。

2. 控制系统

机器人的控制系统一般采用微处理器、PLC 或者计算机作为控制系统的核心。在简单的点位控制应用中，应用 PLC 作为控制核心的最多。这是因为 PLC 具有简单可靠、易于开发、维护等特点，比较适合于机器人的点位控制；而在略微复杂的机器人中，往往采用微处理器(包括单片机、DSP 或 ARM 等)进行，因为本身微处理器的价格比较低廉，再者具有很好的开发性能，有利于比较复杂的运算应用；而在需要较为复杂的运算中就必须应用计算机(或其芯片)来进行开发，比如，进行人脸识别的机器人应用，其控制系统一般为笔记本计算机，这是因为在做模式识别时，控制核心所做得计算量很大，用单片机或 DSP 进行这类计算占用系统的资源太多甚至计算速度跟不上。

3. 机器人内、外部接口

机器人要进行工作，就必须与外部环境打交道。这里的外部环境含义有二：一是机器人的操作对象，二是来自外部的控制指令。机器人与外部控制系统的通信方式一般有两种。

(1) 直接用电线相连

这种方式只适合于控制系统与机器人的近距离作业。这种方式的优点是控制可靠，成本低廉。目前常用的有 RS-232 接口、RS-485 接口以及总线接口，比如 CAN 总线等。

(2) 红外数据传输

这种方式的优点是不需要复杂的、很长的电缆，减轻了机器人工作时对外部准备环境的要求。但其缺点是可靠性需要很好的保证，无线传输的速度也有些慢。

当然，随着机器人相关技术的发展，机器人与外部数据的传输也更加先进，种类也逐渐增多。使机器人与外部的数据传输既安全可靠，速度又快。

9.3 用机械手进行装配作业的基本动作

随着机械手硬件与软件的进步，机械手开始代替人从事简单重复的作业及对人有害或危险环境的作业等，如喷涂、焊接、锻压或热处理作业中的装料、取料，还有装配作业。在这些作业中，装配与其他作业相比是自动化发展比较慢的一个领域。这是因为要实现有效的自动化装配作业，必须让机器有类似人的良好操作能力，这相当于要求机械手实现人工智能。

目前人们主要对装配作业中的基本动作，即配合作业进行了研究，其成果的一部分已在现场使用。但是让机械手进行几个工件的组装，有的部分还要用螺钉紧固等作业，真正完成一个部件的自动装配，这样的自动化作业还处于研究阶段。但是作为装配操作之一的插孔作业，已经达到了实用化的程度。下面介绍在手腕部装有柔性机构的 RCC 法，装配作业时插入工件与孔的相互干扰分析，以及用模拟的方法证明在插孔动作控制中加入接触力反馈的有效性。

装配作业的问题是插入件正确地对准孔的位置，从而使两物体在不发生不必要接触的情况下完成插孔作业。若两物体为完全刚体时，则变为两物体的正确定位问题。确实，若是物体的形状和孔的位置形状都已知，而且它们是具有重复性的时候，可以进行准确的定位，所以不必担心产生误差。实际上各种零件并不具有同样大小的公差，而且夹具、工具、搬运工具及机器人等也是有误差的，所以要设法消除定位误差。

1. 装配作业中的误差

定位误差可分为几何上的平移误差与角度误差。平移误差是轴与孔的两轴心线之间的距离，角度误差是两轴心线间的角度(图 9.7)。

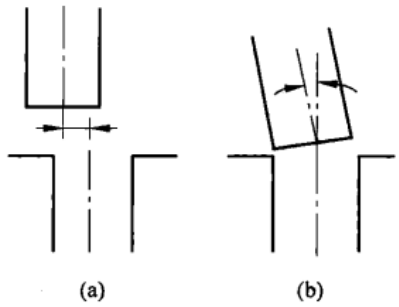


图 9.7 平移误差与角度误差

(a) 平移误差；(b) 角度误差

由于定位误差大小的不同，装配时将产生不同的结果。误差大时要产生切削现象，插入动作就无法进行。误差较小时插入作业也要产生较大的接触力，致使对象工件损伤，而且所需的力也比正常时大。一般而言，销子与孔的位置关系有两种情况：一是两者的倒角部处于对向的状态；二是两者的间隙处于允许范围之内完全可以插入的状态。非常明显，如无倒角，在前者的位置关系下是不能插进去的。因此，插入作业的第一步是通过控制倒角对向而使平移误差减小，但也并非如此就可插得进去。因为，要把销子插进去最终必须把平移误差吸收掉，这时就不能允许销子有一定的倾斜。因此，为了把销子插进去，必须控制角度误差以保证在足够的深度以内销子与孔之间不会发生点接触(图 9.8)。

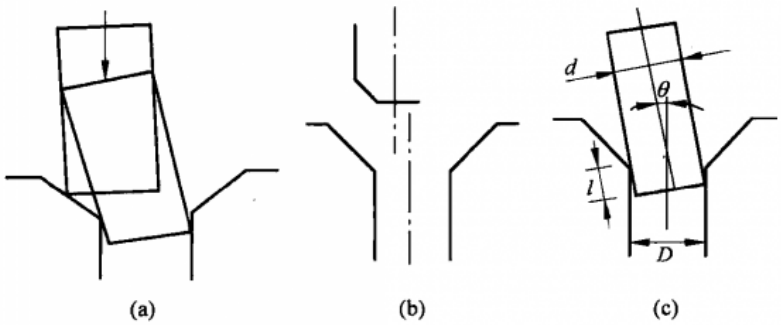


图 9.8 插入时销子的状态

(a) 销子上端安装时沿倒角下降产生误差；(b) 销子倒角在孔的倒角以内；(c) 两点接触时的状态

如取不发生两点接触的插入深度最小值为 l_{min} 时，l_{min} 必须满足

$$l_{min} > \mu D \tag{9.1}$$

式中，μ 为摩擦系数，D 为孔径。随着销子与孔的间隙减小，角度误差的允许值也变小。

$$\theta_{max}=\frac{D-d}{l_{min}}=\frac{(D-d)/D}{\mu} \tag{9.2}$$

例如，$D=0.5''$，$\mu=0.2$，而 $D-d=0.0005''$ 时，$\theta_{max}=0.29°$，若 $D-d=0.002''$ 时，$\theta_{max}=1.14°$。

上述的角度误差是由初始位置给定时的角度误差、手部移动时的误差，或者是平移误差造成的。为了完全实现装配作业，必须消除所有这些误差，为此必须有效地控制其各种变量，所以成本提高。这些变量是工件的容许尺寸及尺寸精度、夹具的结构、固定工具及送料器的位置与姿势、工具摩擦的影响、热膨胀及工件形状的变化等。对机器人来说，为了解决上述问题必须有完全的复现性，但是考虑到齿轮也有磨损，所以这是很难做到的。此外，考虑到机器人产生故障时要更换零件，这种要求也不符合实际操作。

2. 装配作业的柔软性

并不是只有高精度化能解决定位误差。其方法之一就是人们很早就已经知道的浮动法，例如，让固定工具在某一范围内滑动而消除平移误差。但这种方法的缺点是不能吸收角度误差，也不能自动返回到开始位置。因为浮动法使一些固定工具处于浮动状态，所以对有些情况是不合适的，而且其成本也高。另外还有隐蔽浮动法，这是在装配时令工件与夹具、工具稍微倾斜的方法。这时的倾斜量、力的大小一般是未知的，因此这种方法也很不固定，且重复也很困难，所以工程上无法应用。

3. 模糊对中的柔软性

模糊对中的柔软性(Remote Center Compliance，RCC)技术即顺应性模糊对中。这种装置能根据装配时的位置和倾斜误差产生的附加力，使机器人的腕部产生一个微小的弹性变形，从而实现自动纠正并减小位置与倾斜误差，使工件能顺应地装到相应的孔中。

RCC 方法对各种夹具、送料器等误差的积累很有效，所以一般可解决定位误差问题。它可以装配 0.01 mm 左右的间隙，这是它的特点。此外 RCC 的尺寸很小，适合装在机械手的手部。

RCC 的最大特点是可以单独地吸收平移误差和角度误差。如果接触力横向作用，就产生平移运动，而且销轴通过孔的倒角可以插入孔内，即销轴的端部好像是非常柔软的支承，而且可自由地摆动。只要满足式(9.1)就可使倒角面一致而使平移误差得到控制，这样就能达到很好的定位，因此也可适当地选择倒角的大小。

另外，用 RCC 支持销轴，可以以其下端部为中心进行旋转。在进行插入作业时，根据销轴所受的接触力实现使销子轴与孔轴一致的修正动作。当开始插入时的角度在以式(9.2)求得的 θ_{max} 以内时，就可不受摩擦的影响而将销子插进去。

下面按图示情况说明 RCC 的动作。图 9.9 中表示的是构成旋转中心的模糊中心(RC)。由图可知，RCC 的一部分以 RC 为中心实现了旋转运动。图 9.10 表示 RC 的其他部位实现横向平移的情况。

在进行配合作业时，首先是平移部分动作之后进行位置的修正，然后实现插入动作时旋转部分动作而修正角度误差。工业上实际使用的设计，其参数如表 9.2 所示。

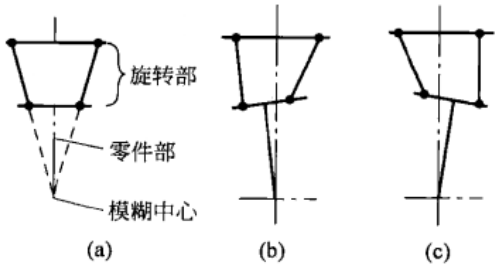


图 9.9 RCC 的旋转运动

(a) RCC 的旋转部二维表示；(b) 零件逆时针旋转；(c) 零件顺时针旋转

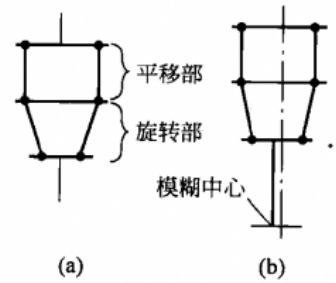


图 9.10 RCC 的平移运动

(a) RCC 的平移部旋转部；(b) 零件无旋转左移

表 9.2 研究用及工业用 RCC

模型	由 RCC 的固定部到模糊中心的距离/mm	重量/kg	横向刚度/(kg·cm^{-1})	扭矩/(kg·cm·mrad^{-1})
1①	127.0	0.138	17.85	1.336
4A②	203.2	1.360	9.82	1.037
A③	177.5	0.362	8.75	0.518

注：① 在研究所使用两年；
② 3 个用于工业实验与考核；
③ 5 个用于工业实验与考核。

在设计 RCC 时必须注意下列条件：

① 由于位置误差过大而使倒角部分对不上时，不能使用 RCC。

② 正在操作时 RC 的位置不能变化(但也有办法解决)。在沿水平轴实行插入作业时，必须采取平衡措施。

③ 用 RCC 组件可能吸收误差大小的限制条件是保证 RCC 产生的应力控制在弹性极限以内。

④ 为使工件不引起切削和在接触点处不引起变形应满足公式(9.2)的条件。

如能限制在上述条件以内，进行小间隙作业时，RCC 就成为位置误差吸收器了。能够吸收误差的大小，在标准情况下平移为 1～2 mm，角度为 1°～2°，因此就使得设计者在送料器装置的定位、棘爪的均匀性以及工件允许误差大小等限制条件的选择上有很大的灵活性。

4. RCC 的应用实例

(1) 间隙配合

① 装入轴承

轴承在 2 mm 的平移误差下也能装入 40 mm 的孔内，其间隙为 0.01 mm。在平均误差中，孔与夹具的允许误差为 1 mm，在自动化装配时其插入时间为 0.2 s。

② 在花键轴上装配齿轮

利用 RCC 插入轴时的模仿动作进行装配。

③ 插入铆钉

在插入孔的位置不正确，孔的形状不定时 RCC 也是多半能用的。

④ 扭紧螺钉

除了扭紧螺钉的力矩外，与简单的销钉插孔作业是相同的。

⑤ 箱体的盖子

与圆形断面相同，RCC 也可进行长方形断面工件的装配作业。但是要控制插入“轴”周围的允许误差角以保证壳体与盖的倒角重叠。

⑥ 小工件的精密安装

不仅定位误差小，而且间隙也小。这样的工件是易于损坏的，其表面也容易变形。由于使用 RCC 可防止切削现象和大的接触力的发生。

(2) 过盈配合

① 插入喷嘴

黄铜制的喷嘴直径为 3 mm，长度为 5 mm。壳体是铝制件，在过盈量为 0.02 mm 时，孔的位置有 0.5 mm 左右的误差，如果喷嘴的刚度很大时，二者要受到破坏。

② 向层状工件内插入轴

本质与销轴插入孔内是一样的。这时应保证各层不能脱开，关于这个问题 RCC 是解决不了的。

③ 丝锥插孔

与螺钉旋入加工好螺纹的孔是一样的。

(3) 工具的交换

① 将工具插入工具交换装置或插入工具保持座。与动配合是一样的，但是把工件装入之后为了使工具能正常发挥作业机能，RCC 必须是紧紧固定的。

② 钻头插入钻杆卡套。因为 RCC 的机能是以很小的接触力将钻头插入钻杆卡套，所以使套的摩擦大为减少，即使钻头的定位精度差些，也可高精度地插入钻杆卡套。

③ 力反馈时的应用。利用力反馈进行装配作业时，必须检测作用力。若是对象物的位置不准确，或力传感器的位置分辨率很低，力要超过传感器的量程，其输出值就无任何意义了，特别是测量小的力或传感器的灵敏度高时，更容易引起上述情况。通过使用 RCC，由于其多轴的缓冲作用，是以小的力产生大的变形，可使作用在传感器上的力变小。

9.4 SCARA 装配机器人

SCARA(selective compliance assembly robot arm)是具有选择顺应性(comphance)的装配机器人手臂。SCARA 在水平方向有顺应性，而在垂直方向则具有很大的刚性。图 9.11 为日本试制的第二台 SCARA 型装配机器人的基本构造。

1978 年 2 月，美国麻省理工学院(MIT)CharleS Stark Draper 研究所的 Nevins 和 Whitney 两人发明了用在机器人手腕上的有名的动柔性腕，采用这样的结构，能根据装配时的位置和倾角偏差产生的附加力，使腕部产生一个微小弹性变形，从而实现自动纠正并减小位置与倾斜偏差，使工件能顺利地插到相应孔中。

图 9.12 为 RCC 的结构原理，它是采用可变形的板簧和杆簧，利用板簧和杆簧变形来获得合成运动的中心，从而实现自动找正中心，并顺利地进行装配操作。

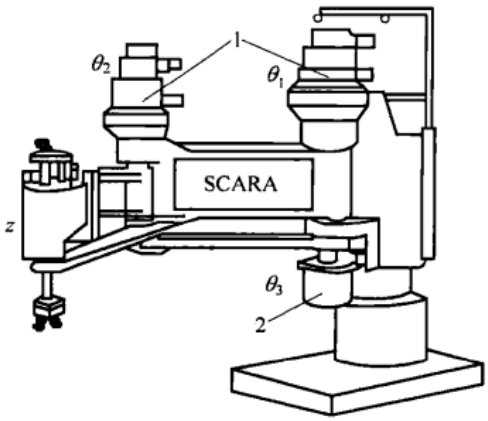


图 9.11 SCARA 型装配机器人的基本构造（试作二号机）

1—DC 伺服电动机；2—步进电动机；θ_1，θ_2，θ_3—回转运动；z—直线运动

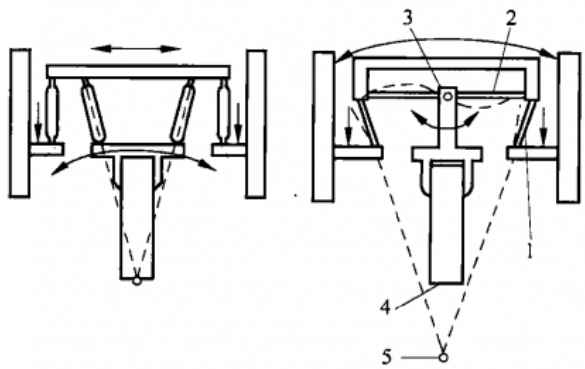


图 9.12 RCC 结构原理

1—杆簧；2—板簧；3—板簧运动中心；4—合成运动中心（即顺应中心）；5—杆簧运动中心

1. SR 系列装配机器人

SR 系列装配机器人是日本三协精机制作所研制的一种 SCARA 型机器人。图 9.13 为 Model SR3 的结构及主要尺寸图。动作范围如图 9.14 所示。

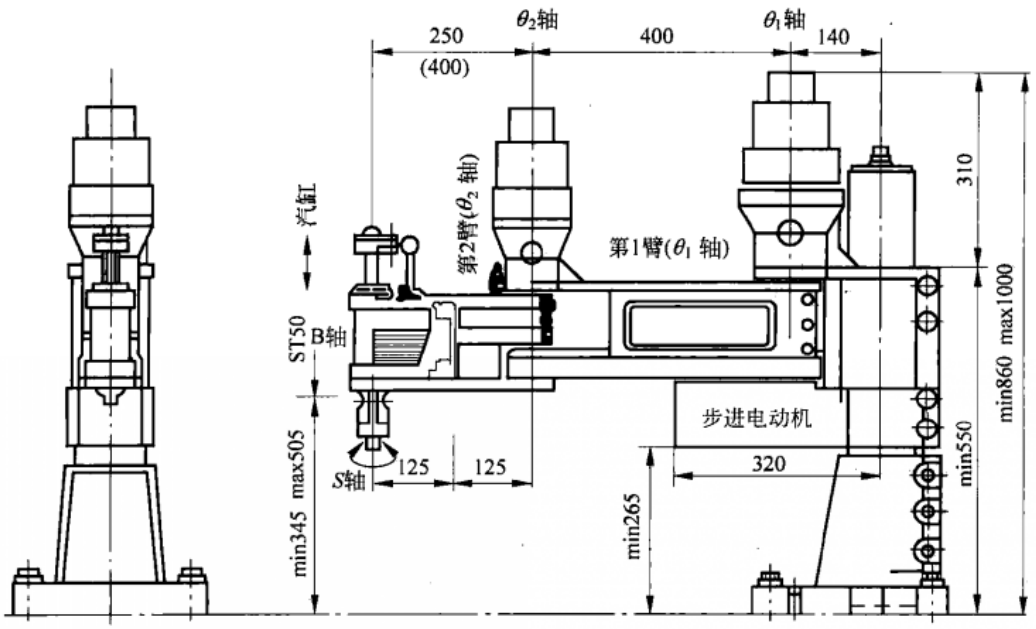


图 9.13 Model SR3 结构及主要尺寸

SR3 的两个水平回转的臂（即第 1 臂、第 2 臂）类似人的手臂。若在手部加水平方向的力，θ_2 轴（相当于人的肘部）就会稍微旋转，顺从地移位。这种位移对弹性变形的力量有吸收作用。SCARA 型机器人运用这种特性，就可以很顺利地进行轴与孔的装配动作。当轴向孔内插时，即使中心稍有偏移，也不会咬住，这是因为当轴与孔的倒角部分接触时，就会产生水平方向的反作用力。在这种反作用力的作用下，SCARA 型机器人的 θ_2 轴就会产生移

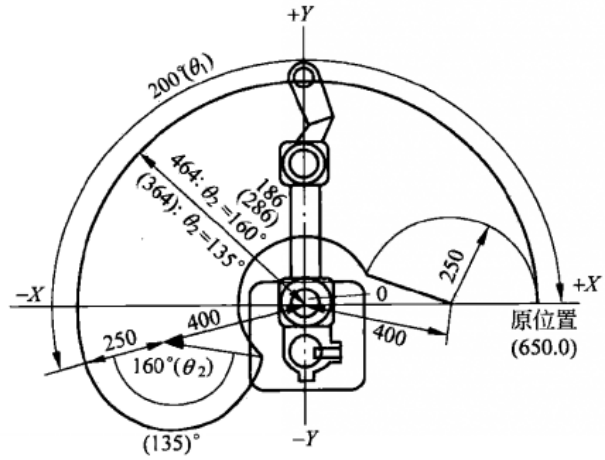


图 9.14 动作范围

位，这样，轴不需倾斜就能够移向孔的中心。这就是说，它可以被动性地对准孔的中心，即使机器人定位不够准确也能保证正确地装配。

2. 使用马达

SR 系列机器人所使用的马达尺寸如图 9.15 所示。其中图(a)、(b)为大转矩输出的伺服电动机，主要应用于需要大转矩的关节部位；图(c)为小惯量伺服电动机，主要应用于需要控制精密运动的部位。这些伺服电动机为机器人工作提供动力。

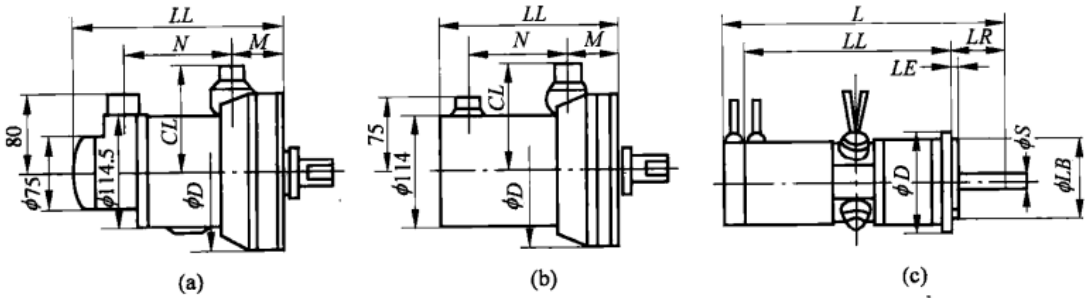


图 9.15 马达的尺寸

3. 控制马达的作用与控制回路

图 9.16 为 Model SR3 的控制回路框图。其速度检测采用速度发电动机(tacho-generator，TG)，位置检测使用的是脉冲编码器(pulse generator，PG)。

速度控制是采用的 NC 曲线。θ_1、θ_2 轴直流伺服电动机的控制是按 NC 曲线的规律进行的，即将 NC 曲线转换成速度输出所必需的脉冲，经 D/A 转换后输给各电动机的驱动器。由 TG、PG 从电动机取出速度和位置信导进行反馈，从而使电动机在高速下圆滑地转动。

由 θ_1、θ_2 轴的 DC 伺服电动机进行水平面上的定位。由 S 轴所用的步进电动机进行手部的回转定位。S 轴所用的步进电动机安装在 θ_1 轴的下部，用同步带将运动传至手腕部，当手部不需要回转自由度时，只要拆掉同步带或不安装这个步进电动机即可。

DC 伺服电动机控制回路框图如图 9.17 所示，图 9.18 为 DC 伺服电动机驱动原理框图举例。

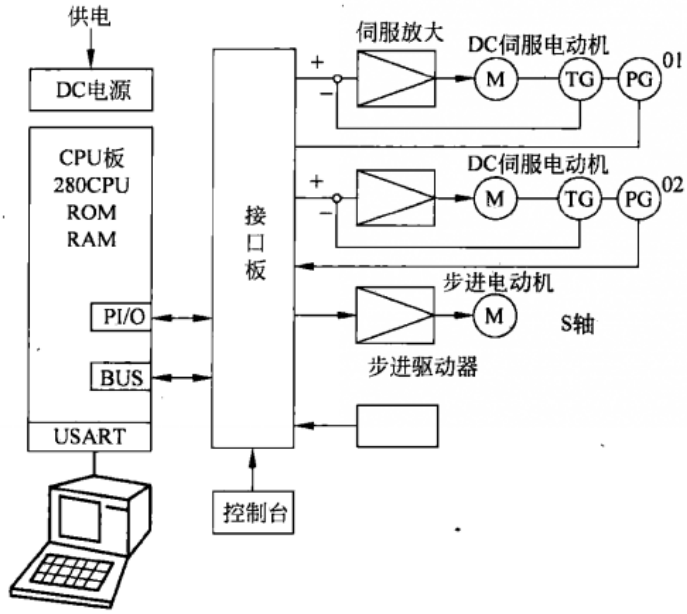


图 9.16 Model SR3 控制回路框图

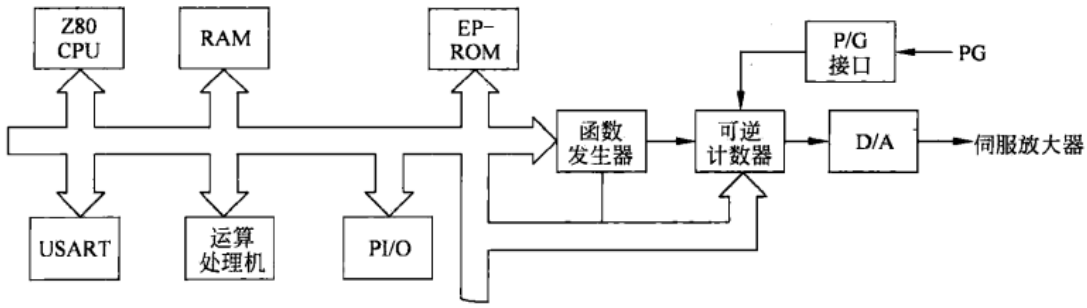


图 9.17 DC 伺服电动机控制回路框图

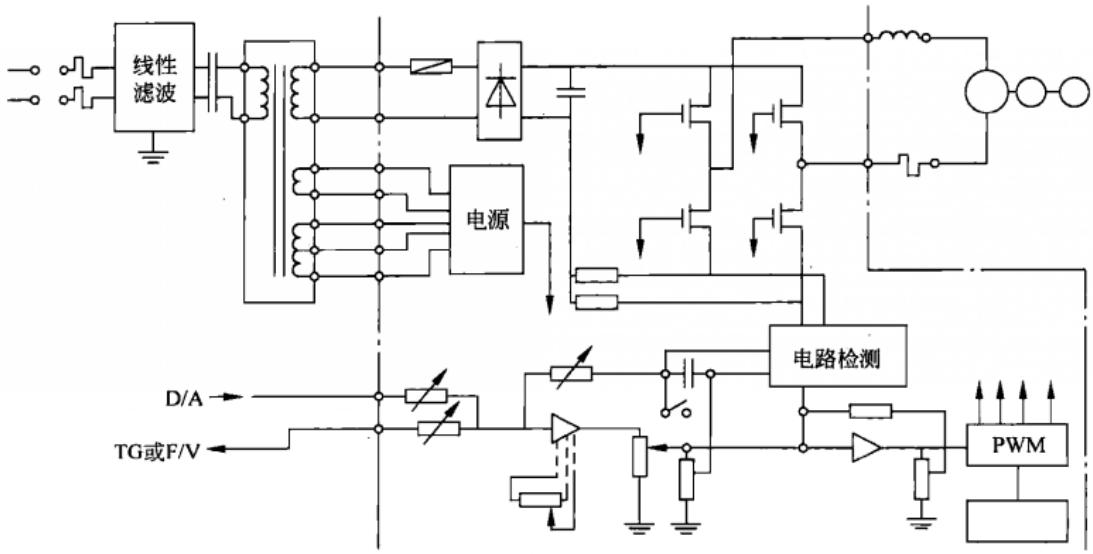


图 9.18 DC 伺服电动机驱动原理图

4. SSR—H 系列装配机器人

日本服访精工台研制了 SCARA 型 SSR--H 系列装配机器人。图 9.19 为 SSR—H 系列的代表机种 SSR—H414 及 SSR—H253 的外形。

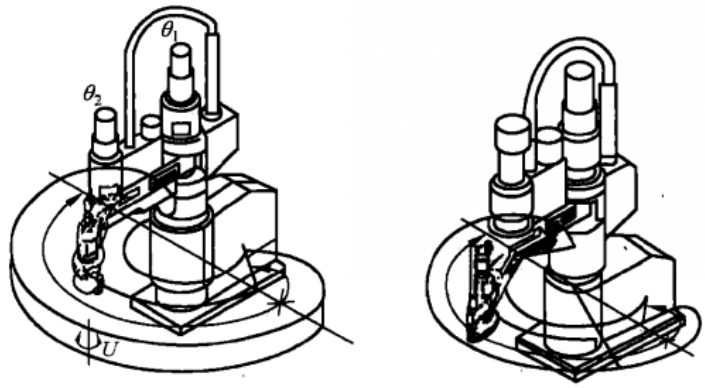


图 9.19 SSR—H 型系列机器人的外形

(a) SSR—H414；(b) SSR—H253

SSR—H 系列产品所使用的电动机 SSR—H414 和 SSR—H253 这两种型号分别同时进行 4 轴与 3 轴控制。分别使用了 4 个和 3 个 DC 伺服电动机，如图 9.20 所示。这种电动机与液压伺服马达、步进电动机及 AC 伺服电动机相比较，具有如下优点：①动力源管理方便、易于保证(与液压伺服马达相比)；②输出能力与重量之比大；③速度高，如步进电动机由于有频率脱调问题而不能高速驱动；④伺服响应性好；⑤技术上比较成熟(与交流伺服电动机相比较)。

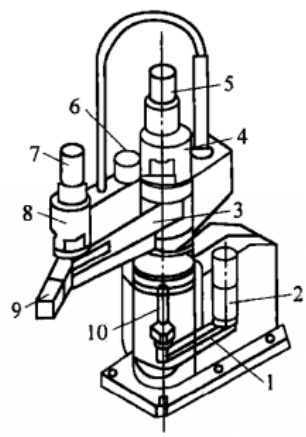


图 9.20 SSR—H414 的电动机配置及结构略图

1—同步带；2—升降用 z 轴 DC 伺服电动机；3—第一臂；4—第一臂减速器；5—第一臂 DC 伺服电动机；6—U 轴 DC 电动机；7—第二臂 DC 伺服电动机；8—第二臂减速器；9—第二臂；10—升降用滚珠丝杠

SSR—H414 与 SSR—H253 所使用的 DC 伺服电动机的大致尺寸如图 9.21 所示。

DC 伺服电动机的作用及伺服驱动器 SSR—H414 的第一臂、第二臂分别由 DC 伺服电动机通过减速器驱动。U 轴(即手腕回转)由 DC 伺服电动机通过减速器及两条同步带驱动，使手部做水平回转运动。整个臂部的升降由 DC 伺服电动机通过同步带及滚珠丝杠驱动。

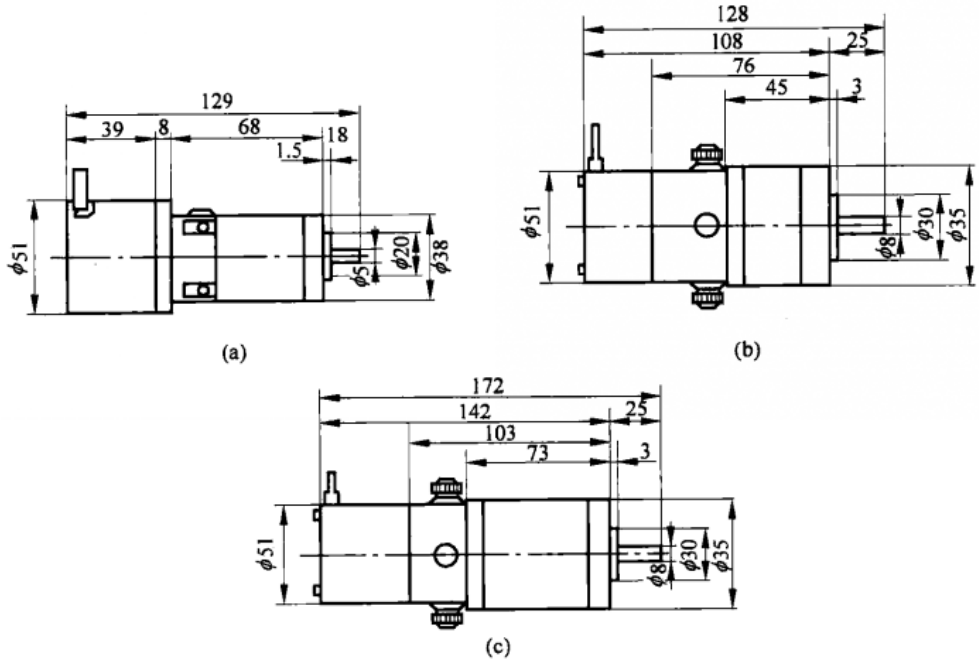


图 9.21 DC 伺服电动机的尺寸

(a) 20 W DC 伺服电动机；(b) 80 W DC 伺服电动机；(c) 100 W DC 伺服电动机

下面以 SSR—H414 的第一臂用 DC 伺服电动机为例，讨论对 DC 伺服电动机的要求。与第一臂有关的参数大致如下：减速比，1/100；电动机的最高转速(最高工作速度)，3000 r/min；加速时间，0.2 s；臂的转动惯量，0.75 kg·m²(包括负载 20 N)。

实际的加速过程是按某一加速曲线进行的，但为了讨论方便，这里按线性加速进行计算。这时的惯性转矩为

$$M = J\varepsilon$$

式中，M——惯性转矩；

J——转动惯量；

ε——角加速度。

这里从减速器输出轴输出的角加速度可按下式计算：

$$\varepsilon = [(3000/60)/100] \times 2\pi/0.2 = 15.7(1/s^2)$$

则 $M=0.75\times15.7=11.8(kg\cdot m^2/s^2)=11.8(N\cdot m)$

将 M 换算到电动机轴上得

$$M_m = 11.8/100 = 0.118(N\cdot m)$$

又由于电动机本身的惯性，减速器的惯性以及第二臂的反力等，所需要的转矩大约为

$$M_0 = 0.13(N\cdot m)$$

所以，所需电动机的转矩应大于

$$M_m + M_0 = 0.25(N\cdot m)$$

该种机器人第一臂实际所选用的是 100 W 的电动机，其最大瞬时转矩为 1.47 N·m，额定转矩为 0.278 N·m，故可以满足要求。

以上所讨论的仅仅是可以计算的部分，另外还有摩擦损失等所需要的转矩，而这部分转

矩很难精确地计算，必须由设计人员凭经验来确定。

DC伺服电动机的多数选择是重要的，但是与此同时所考虑的还有编码器的特性，SSR—H系列机器人所选用的编码器是安装在电动机轴上的光电式回转编码器。编码器的特性有温度特性、响应频率等，但最重要的还是响应频率。

上面已经给出装在第一臂电动机轴上的编码器刻度为1000，电动机的最高工作转速为3000 r/min，故编码器的最高转速为3000 r/min，此时的响应频率应为

$$f = (3000/60) \times 1000 = 50\,000(\text{Hz}) = 50(\text{kHz})$$

本机所使用的编码器的响应频率为75 kHz，故可以满足要求。但必须注意随着温的升高编码器的响应频率下降这一问题。

图9.22是SSR—H系列产品所使用的伺服驱动器的框图，该驱动器的特点如下：

① 位置、速度指令按着独自的加减速曲线（变形正弦曲线）以脉冲数列的形式给定；

② 按着指令速度改变闭环增益（4级），可以实现平滑而无冲击的运动；

③ 根据可逆计数器的值改变分辨率可以实现高精度定位。

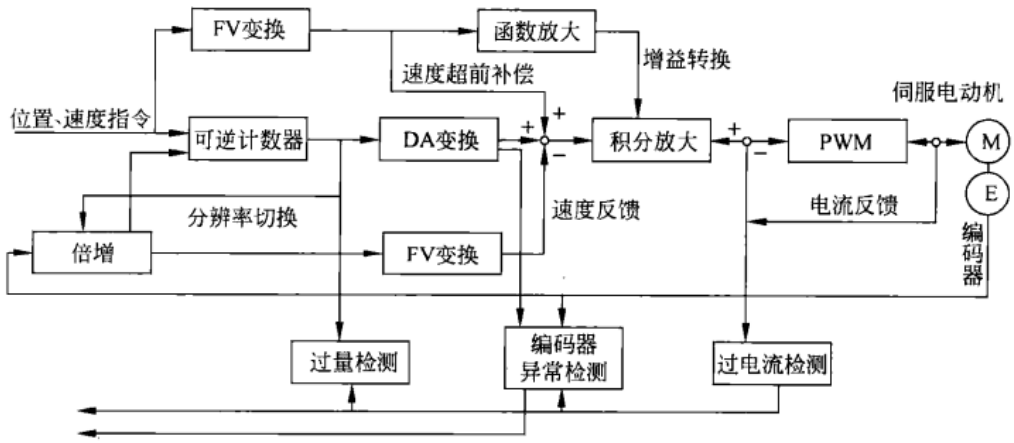


图9.22 伺服驱动器框图

9.5 机器人在装配中的应用举例

装配作业中引用机器人的主要目的是保证产品的一致性及可靠性，特别是有些电子产品，工人的肤屑、汗水及精神状态会严重影响产品质量。因而，许多生产电子元器件及家用电器的厂家采用机器人装配。小型电动机也采用机器人装配。一般简单产品用一台机器人及一些周边装置即可完成产品装配，如图9.23所示。

各种零件经辊道、滑槽等传送装置送到机器人周围，有些小零件的料仓或料架放在机器人附近。各种工具都装在能与机器人手腕快速装卸的接头中，置于工具架上，机器人按程序更换工具，以装配各种零件。

装配零件很多的产品，宜用多台（甚至一百多台）机器人及周边装置组成柔性自动装线，如图9.24所示。

电视机、录像机及通信设备的印刷电路板上有数以百计的各种规格的电子元器件，输送装置较为复杂。大型板及形状复杂的器件放在料架或料箱中，由机器人按程序逐个抓取。

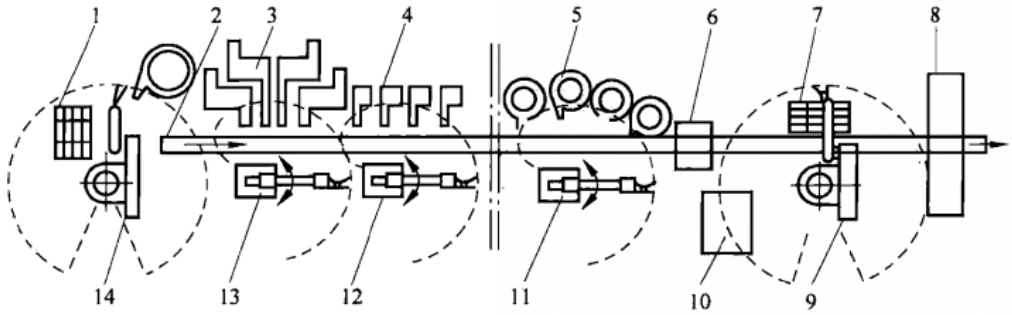


图 9.23 电路板的元器件装配自动线

1—料架、料箱；2—传送带；3—带包元件送料器；4—管装元件送料器；5—振动料斗；6—视觉检查；7—中间仓库；8—波峰焊机；9、11～14—机器人；10—废品箱

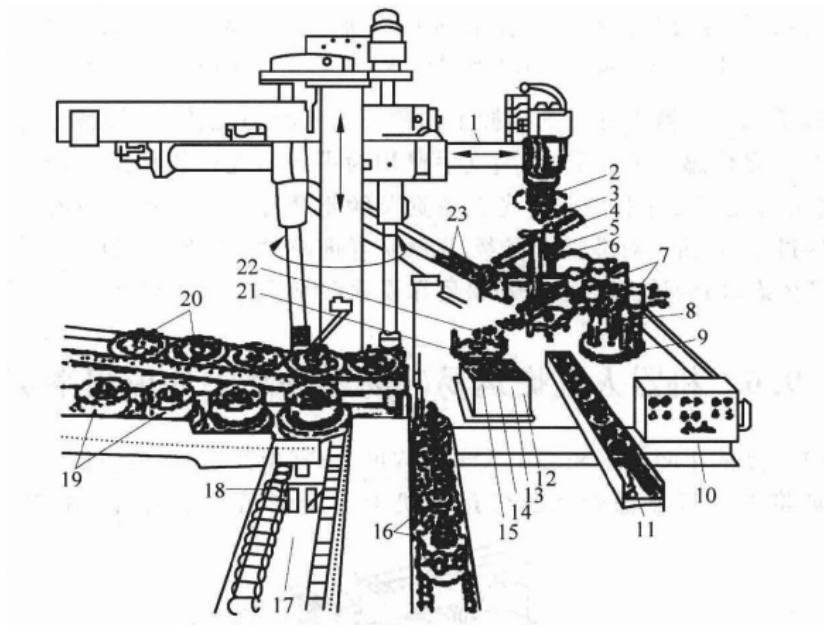


图 9.24 一台机器人及其周边装置的自动装配单元

1—机器人手臂；2—柔性手腕；3—工具；4—螺钉；5—工具支架；6—旋具；7—工具库；8—护圈；9—转换台；10—示教控制盒；11—带轮；12—隔板 A；13—垫圈；14—螺母；15—隔板 B；16—转子；17—成品出口道；18—成品出口；19—后盖；20—风扇；21—主装配工装；22—部件装配工装；23—轴承

电阻、电容等编排在纸带中，由带包元件送料器拨开纸带逐个送到机器人手中。中周、集成电路插座等多腿元件装在管中，由送料器送到一定位置。螺钉等小零件由振动料斗送到机器人的末端执行器或印刷板上。装配完毕，由视觉检察，合格品由机器人放入中间仓，再送到波峰焊机焊接。不合格品由机器人放入废品箱中。

用一百多台机器人组装录像机的装配自动线已投入生产，因全部装配工作都由机器人完成，产品的一致性及可靠性高，在国际市场上有较强竞争力。

核电站维修中的拆卸及装配零部件，已采用具有视觉、触觉及力觉的智能机器人。用智能机器人装配吸尘器的原理如图 9.25 所示。

四台水平固定摄像机、三台垂直固定摄像机及一台可转动的摄像机，给机器人提供大范

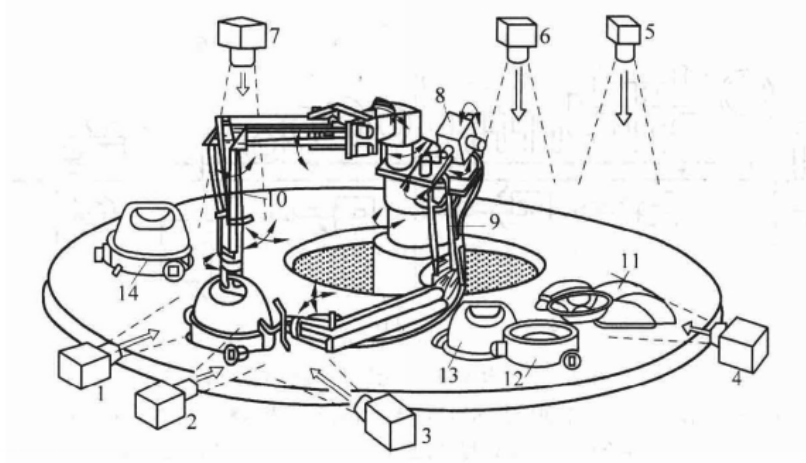


图 9.25 智能机器人装配吸尘器

1～4－水平固定电视摄像机；5～7—垂直固定电视摄像机；8—可转动电视摄像机；9—有感觉的手臂；10—抓握手臂；11—过滤网；12—吸尘容器；13—本体；14—吸尘器

围的三维图像信息。机器人有一支抓握手臂和一支具有力觉传感器、触觉传感器的感觉手臂，其中 20 个触觉传感器装在手上，两支手臂均为平行四连杆机构组成，有 8 个自由度，动作灵活，两臂配合完成复杂作业：首先在视觉及触觉诱导下从一堆过滤器中抓取一个布基橡胶圈制成的过滤网，然后对准吸尘容器，靠触觉导向将过滤网嵌入其中；再靠视觉识别本体的抓手位置及姿态，用触觉实现软抓取；最后靠视觉系统导向，将本体及吸尘容器装成一体。

9.6 机器人在搬运易碎易爆物品中的应用举例

生产玻璃制品的车间为了减轻工人劳动强度，提高生产率，常采用机器人或机械手搬运玻璃制品。如将电视机显像管从胶带运输机上搬运到吊式运输机的挂架上，如图 9.26

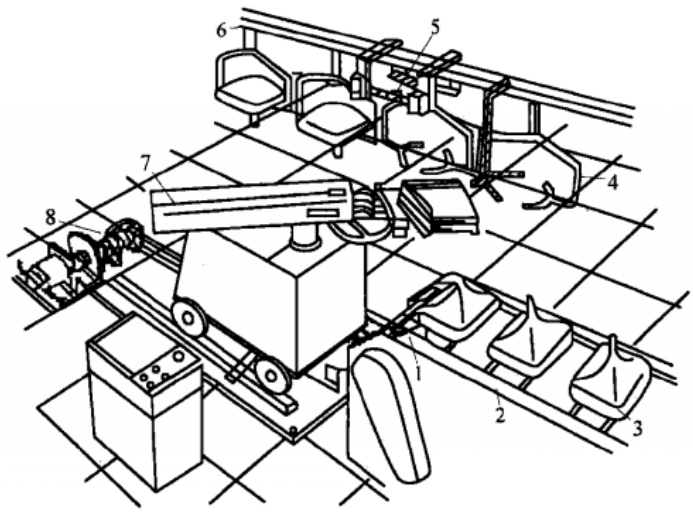


图 9.26 机器人搬运电视机显像管

1—显像管到位传感器；2—传送带；3—显像管；4—挂架；5—挂架通过传感器；6—吊式运输机；7—圆柱坐标型机器人；8—同步移动装置

所示。

该机器人有机身升降及回转、手臂伸缩、手腕回转及手夹放等动作。为了跟踪连组移动的吊式运输机，保证准确地将显像管放在挂架上，当机器人根据显像管到位信号抓起显像管并使其翻转 180°后，挂架通过信号，使同步移动装置拖着机器人在导轨上运动，其速度与挂架相等，保证机器人手伸入挂架中放显像管时不会发生碰撞。

附录A

AGV 应用实例

本设计以一款语音遥控器为例，说明语音识别技术如何应用在 AGV 领域。它的语音识别主要是调用凌阳 SPEC061A 的 API 函数来进行处理。

A.1 整体设计方案

1. 设计思想

根据设计要求，采用具有语音识别功能和控制功能的单片机，再加入一定的外部硬件，即可实现语音遥控功能。本系统选用的是凌阳 SPEC061A 单片机主要考虑以下原因。

① 该单片机具有语音识别及控制功能，同时也具有处理数字信号处理(digital signal processing，DSP)功能。

② 容易实现与外部硬件的接口。

③ 将 C 语言和 ASM(汇编语言)语言合二为一，使编程更加简单，更容易实现功能软件化，从而可以使外部硬件电路减少，集成度高。

④ 经过对市场的相关语音产品的比较选择，SPEC061A 单片机不但可以对语音信号进行存储处理，还可以对电路实现控制，在此基础上扩展存储空间，就可以用语音遥控完全代替手动遥控，从而实现人工智能；也可以使二者合二为一，更具特色。

2. 设计方案

本系统为典型的实时控制系统，易用单片机控制来实现，这里以凌阳 SPCE061A 单片机为主控元件，提出两种设计方案。

(1) 方案一

采用凌阳 SPCE061A 十六位单片机，对小车的整个行驶过程进行实时监控，完成所有功能需要 24 个 I/O 口。由于凌阳 SPCE061A 单片机提供 32 个 I/O 口，一片单片机即可实现所有功能，这为设计过程提供了极大方便。其主要设计思想是：小车上，安装一个霍耳元件，利用单片机的 IOB3 外部中断判别轮胎转数，进而计算路程；安装三个检测障碍物的光电检测器和一个碰撞开关，利用 IOB4、IOB5、IOB6 用扫描的方式来控制拐弯和返回；利用单片机的 IOB8～IOB13 控制继电器选择小车的正、反向和加、减速行驶。凌阳 SPCE061A 16 位单片机提供了丰富的时基信源和时基中断，给设计者以大量的选择空间，并给设计者提供精确的时基计数，其加、减速通过大功率电阻消耗功率来实现。整体框架如图 A.1 所示，这种方案可以使程序简单，易于控制。

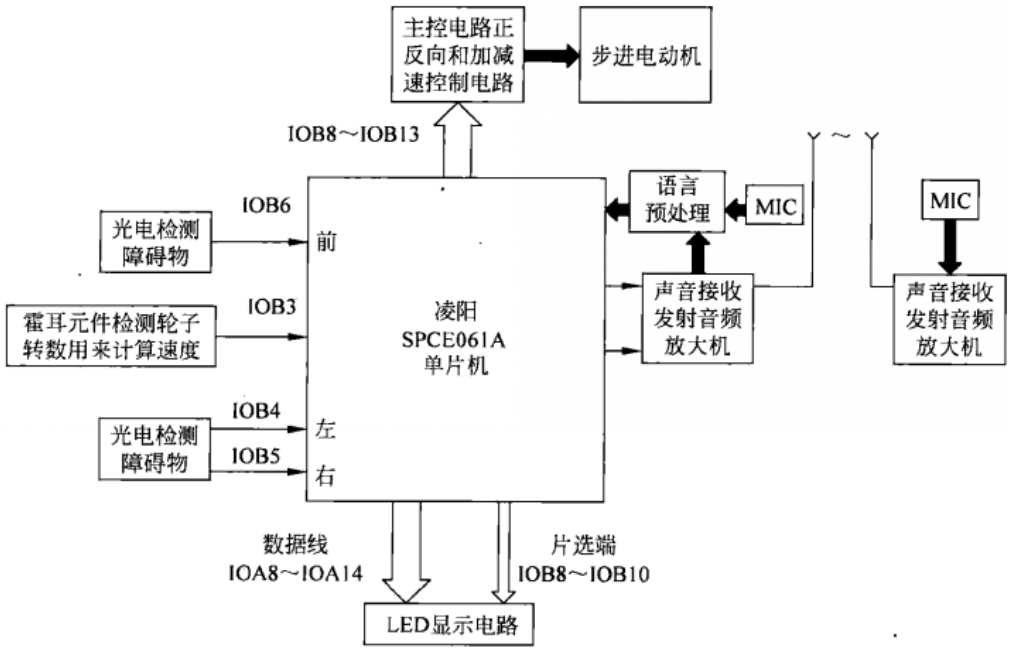


图 A.1 系统整体原理框图

(2) 方案二

此方案与第一种方案不同之处在于利用单片机的 IOB8、IOB9 产生控制调速的脉宽和控制小车的正、反行驶，用凌阳 SPCE061A 16 位单片机的 TimeA 和 TimeB 很容易实现脉宽调制，这大大加强了用脉宽调制控制加减速的可选性，但对继电器要求较高。考虑大众化设计时，采用第一个方案更适用。

比较两种方案，我们选择具有系统设计灵活的方案二。

A.2 硬件电路设计

根据已选择的设计方案，本系统由单片机、步进电动机、电动机驱动、声音接收发射放大器、光电检测器五部分组成。

1. 单片机部分

凌阳 16 位单片机的 CPU 内核采用凌阳推出的 μ'nSP(microcontrolle and signal processor)16 位微处理器芯片(以下简称 μ'nSP™)。围绕 μ'nSP™所形成的 16 位 μ'nSP™系列单片机(以下简称 μ'nSP™家族)采用的是模块式集成结构，它以 μ'nSP™内核为中心集成不同规模的 ROM、RAM 和功能丰富的各种外设接口部件，其结构如图 A.2 所示。

μ'nSP™内核是一个通用的核结构。除此之外的其他功能模块均为可选结构，借助这种通用结构可选的积木式的构成，便可形成各种不同系列派生产品，以适合不同的应用场合。目前有两种封装形式：84 引脚的 PLCC84 封装和 80 引脚的 LQFP80 贴片封装。

2. 控制方式

采用方案二，系统的原理框图如图 A.1 所示。主控元件为凌阳 SPCE061A 单片机，属

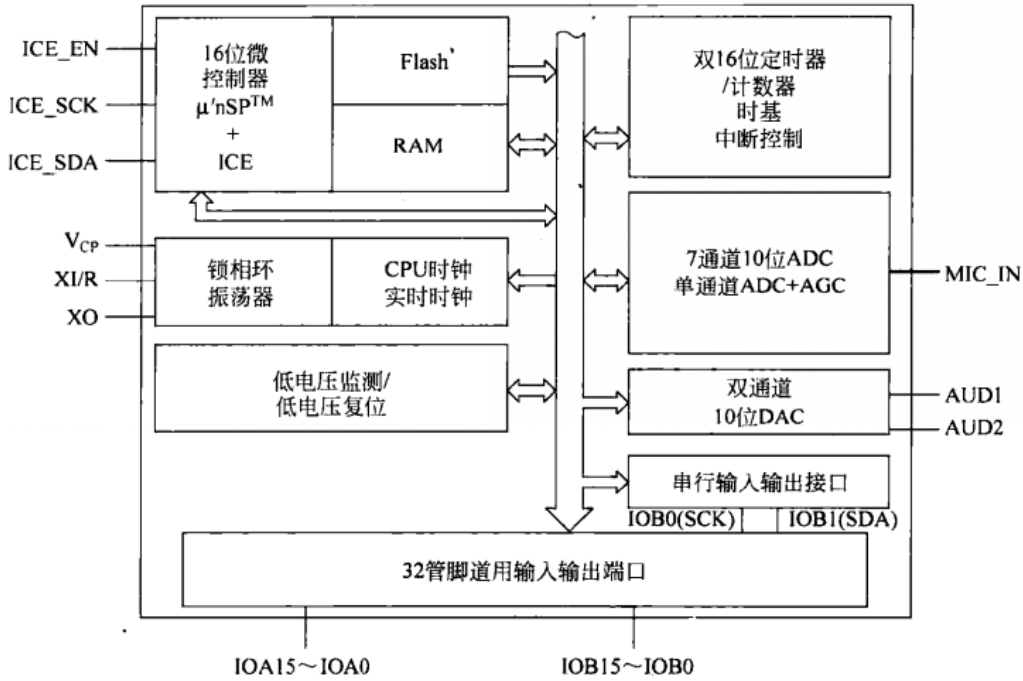


图 A.2 SPCE061A 的结构

于凌阳 μ'nSP™ 系列产品的一个 16 位结构微控制器。在存储器资源方面考虑到用户较少资源的需求以及便于程序调试等功能，SPCE061A 里只内嵌 32K 字的闪存(Flash)，但用在此系统上已经绰绰有余。较高的处理速度使 μ'nSP™ 能够非常容易地快速处理复杂的数字信号。因此以 μ'nSP™ 为核心的 SPCE061A 微控制器也适用在数字语音识别应用领域。SPCE061A 在 2.6～3.6 V 工作电压范围内的工作频率范围为 0.32～49.152 MHz，较高的工作频率使其应用领域更加拓宽。2 K 字 SRAM 和 32 K 字 Flash 仅占一页存储空间，具有 32 位可编程的多功能 I/O 端口，两个 16 位定时器/计数器，32 768 Hz 实时时钟，低电压复位/监测功能，8 通道 10 位模数转换输入功能并具有内置自动增益控制功能的麦克风输入方式，双通道 10 位 DAC 方式的音频输出功能，用于辨识特定人员和进行语音播报。

3. 步进电动机

步进电动机是一种将电脉冲信号转换成角位移或线位移的机电元件。步进电动机的输入量是脉冲序列，输出量则为相应的增量位移或步进运动。正常运动情况下，它每转一周具有固定的步数；做连续步进运动时，其旋转转速与输入脉冲的频率保持严格的对应关系，不受电压波动和负载变化的影响。由于步进电动机能直接接受数字量的控制，所以特别适宜采用微机进行控制。

(1) 步进电动机的驱动方法

步进电动机不能直接接到工频交流或直流电源上工作，而必须使用专用的步进电动机驱动器，如图 A.3 所示，它由脉冲发生控制单元、功率驱动单元、保护单元等组成。

图 A.3 中虚线所包围的两个单元可以用微机控制来实现。驱动单元与步进电动机直接耦合，也可理解成步进电动机微机控制器的功率接口，其种类有：

① 单电压功率驱动接口，这是最简单的驱动电路，存在附加损耗；

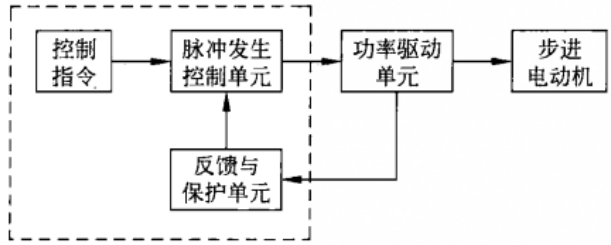


图 A.3 步进电动机驱动控制器

② 双电压功率驱动接口，它可使电动机在高频段也有较大输出功率，而在静止锁定时功耗小；

③ 高低压功率驱动接口，它可改善驱动器的高频性能；

④ 斩波恒流功率驱动接口，它可使导通相绕组的电流不论在锁定、低频、高频工作时均保持固定数值，使电动机具有恒转矩输出特性；

⑤ 升频升压功率驱动接口；

⑥ 集成功率驱动接口，目前已有多种用于小功率步进电动机的集成功率驱动接口电路可供选用，如 LZ98、TA8435、A2916 等芯片，其中 L298 特别适用于对二相或四相步进电动机的驱动。

(2) 步进电动机的控制方式

单片机对步进电动机进行控制的方法有串行控制和并行控制两种。

在串行控制中，单片机与步进电动机功率驱动接口之间只需两条控制线，一条用来发送走步脉冲串(CP)，另一条用来发送指定旋转方向的电平信号，如图 A.4 所示。脉冲分配器的作用是将 CP 走步脉冲转换成多相循环变化的脉冲，例如，CP 脉冲的产生方法是，利用单片机对输出口 P1.1 进行两次求反操作。在两次求反操作之间插入一定的延时，就可以产生一个脉冲信号。

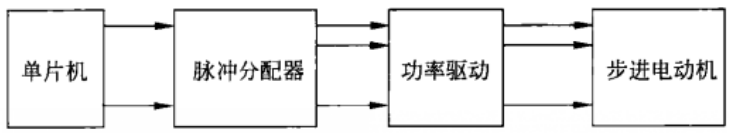


图 A.4 单片机串行控制

在并行控制中，单片机用数条输出线直接接控制步进电动机各相绕组的驱动线路。这种电动机功率接口中不包含脉冲分配器，脉冲分配器的功能必须由单片机来完成，而单片机实现脉冲分配器的功能又有两种方法：一种是纯软件方法，即全部用软件来实现相序分配，直接输出各相导通或截止的信号，如图 A.5 所示；另一种方法是软件与硬件结合的方法，即用单片机选通解码器输出去控制步进电动机，如图 A.6 所示。此方法更有利于实现多台步进电动机的联动控制。

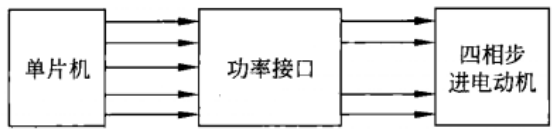


图 A.5 纯软件代替脉冲分配器

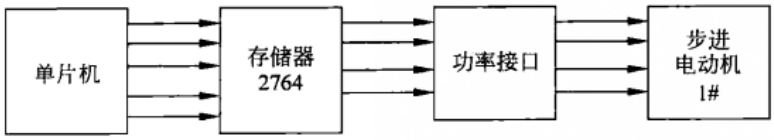


图 A.6 软、硬件结合的控制方法

(3) 步进电动机的速度控制

步进电动机的转速控制，实际上就是控制转换电动机通电状态的时间长短，有两种方法，即软件延时方法和定时器延时方法。

软件延时方法是在每次转换电动机通电状态(或称换相)后，调用一个延时子程序，待延时结束后，再次执行转换状态子程序。如此反复，使电动机按某一确定转速运转。这种方法简便，不占用硬盘资源，它的缺点是占用 CPU 时间过多。

定时器延时方法利用单片机中某个定时器加载和溢出产生中断信号，终止主程序的执行，转向执行定时器中断服务程序，来产生硬件延时的效果。若将电动机换相子程序放在定时器中断服务子程序之中，则定时器中断一次，电动机就换相一次，反复执行中断服务程序时，步进电动机将按一定的频率运行。

4. 转弯原理

小车转弯一般都是通过传动装置使前车轮向左或向右偏转一定的角度来实现向左或向右转的功能。而在本系统中，由于车轮装在电动机轴上，直接由电动机的转子带动。因此，本系统采用另外的方式来实现转弯的功能。这种方式的原理是，当一边的前车轮的速度快于另一边前车轮的速度时，小车就会转向另一边。这种原理实现的方法有两种。

(1) 一边前轮的速度快于另一边前轮的速度

工作在这种方式时，两个车轮行驶的轨迹就是两段同心的圆弧。例如，向左转 45°，那么，使右前轮的速度快于左前轮，车体便会向左转，左右轮行驶的轨迹是圆心角为 45°的两段圆弧，右轮的圆弧轨迹在外面且弧长大于左轮行驶的弧长。如果两个车轮的速度差不同，两段弧长也不相同，圆弧的半径也是不确定的。在这种方式中，转弯时间既与速度有关，也与速度差有关。

(2) 使一个车轮停止在原地、另一个车轮以一定的速度行驶

工作于这种方式时，只有一个车轮驶过一段圆弧轨迹。例如，向左转 45°，那么，左前轮停在原地不动，右前轮驶过一段圆心角为 45°的圆弧，圆弧的半径是确定的，就等于两个车轮之间的距离。在这种方式中，转弯的时间只与速度有关。

5. 功率驱动接口电路

功率驱动接口电路是用于接收 CPU 发送过来的脉冲信号，并转换成一定大小的电流去驱动电动机，从而控制电动机的转速和转向。功率驱动接口电路的种类有多种，本系统采用具有脉冲分配功能的 L297 芯片与具有功率驱动功能的 L298 芯片构成的具有恒流斩波功能的步进电动机驱动系统。

(1) L298 芯片

L298 芯片是一种高电压、高电流 H 桥式驱动器，有 15 脚的 Multiwats 和 20 脚的

PowerS02 两种封装形式。它设计成接受标准 TTL 逻辑电平信号，可用来驱动电感性负载，如继电器、直流电动机和步进电动机。H 桥可承受 46 V 电压，相电流高达 2.5 V。L298 的逻辑电路使用 SV 电源，功放级使用 5～46 V 电压，下桥发射极均单独引出，以便接入电流取样电阻。L298 这种 H 桥驱动的主要特点是能够对电动机绕组进行正、反两个方向通电，适用于对两相或四相步进电动机的驱动。其原理框图如图 A.7 所示。

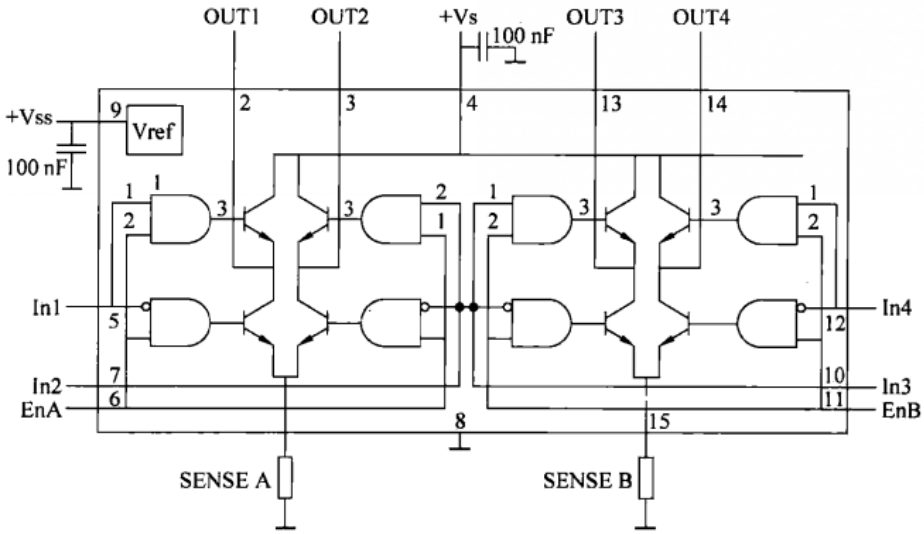


图 A.7　L298 内部电路原理框图

(2) L297 芯片

L297 芯片是步进电动机控制 IC，是一种脉冲分配器专用芯片。它将时钟信号分配成四相信号以驱动二相或四相步进电动机。它的特点是仅需要时钟信号(CP 脉冲)、方向信号和模式输入信号。L297 有 DIPZ 和 5020 两种封装形式，可以跟单块桥式驱动器如 L298 或 L293E 及分立元器件共同使用。内部框图如图 A.8 所示。

译码器(即脉冲分配器)将时钟 CP 脉冲、正/反转信号、半/整步信号综合后，产生所要求的各相通断信号。

斩波器由比较器、触发器和振荡器组成。用于检测电流采样值和参考电压值，并进行比较。由比较器输出信号来开通触发器，再由振荡器决定频率并实现斩波。

输出逻辑综合了分配信号与斩波信号，产生 A、B、C、D 四相信号以及抑制信号。L297 与功率接口 L298 耦合，可以获得最好的使用效果，它们之间的连线如图 A.8 所示。

(3) 输出时序图

半步工作模式的输出时序图如图 A.9 所示。

双拍工作模式的输出时序图如图 A.10 所示。单拍工作模式如图 A.11 所示。为了确定障碍物，加入障碍物检测的光电传感器(光电开关，是光电接近开关的简称)，利用被检测物对光束的遮挡或反射，由同步回路选通电路，从而检测物体有无障碍物。

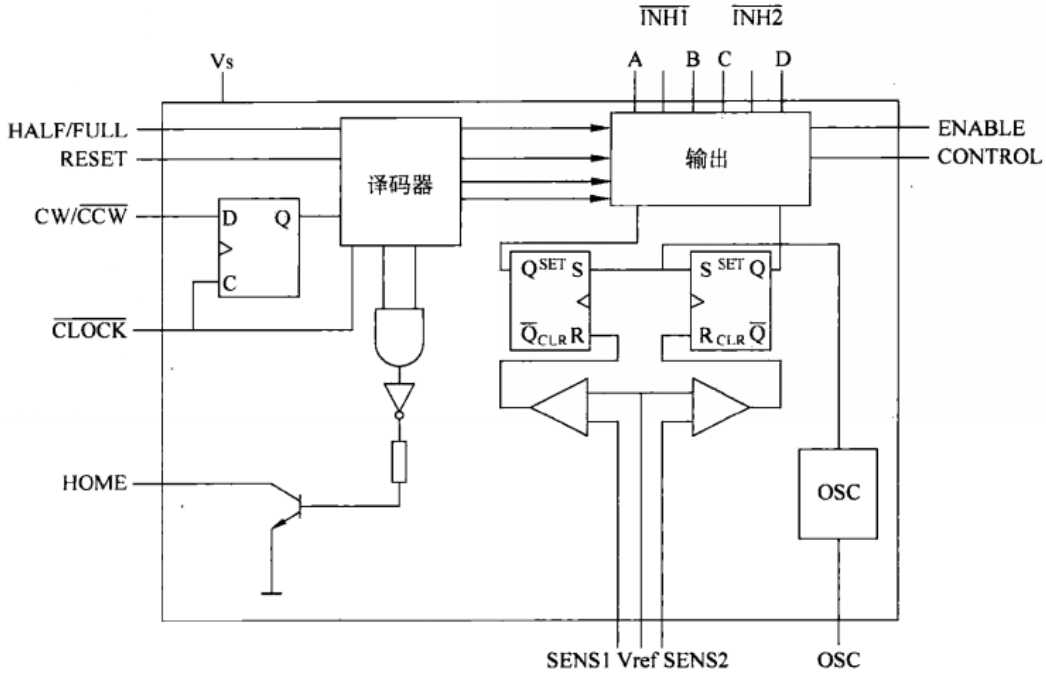


图 A.8 L297 内部电路原理图

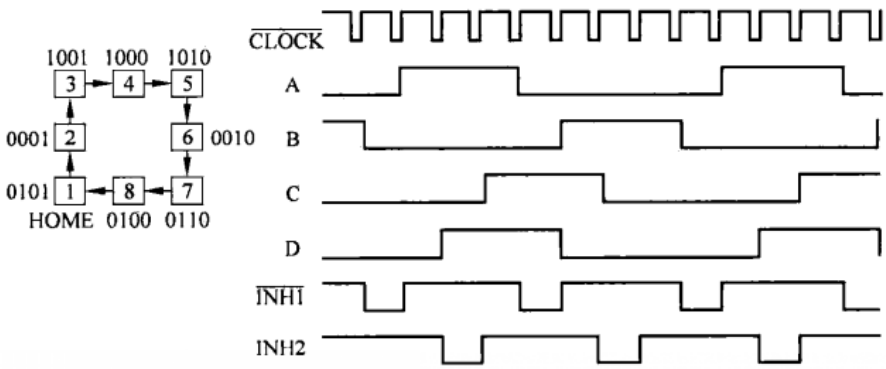


图 A.9 半步工作时的时序图

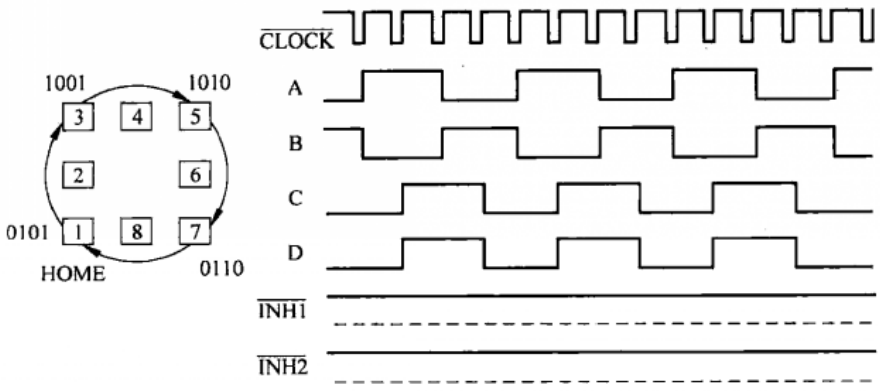


图 A.10 双拍工作时的时序图

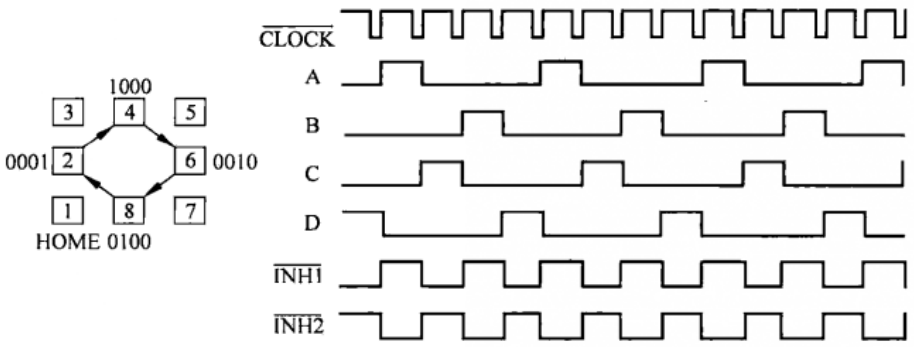


图 A.11 单拍工作时的时序图

6. 光电检测电路

物体不限于金属，所有能反射光线的物体均可被检测。光电开关将输入电流在发射器上转换为光信号射出，接收器再根据接收到的光线的强弱或有无对目标物体进行探测。根据小车所处的位置改变行驶状态，所使用的光电传感器为市场上普通的光电传感器，再没检测到障碍物时 U_o 输出为低电平，在检测到障碍物时 U_o 将与传感器内部电路断开，因而加一个上拉电阻，如图 A.12 所示，此时将输出高电平。

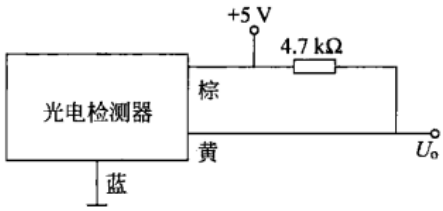
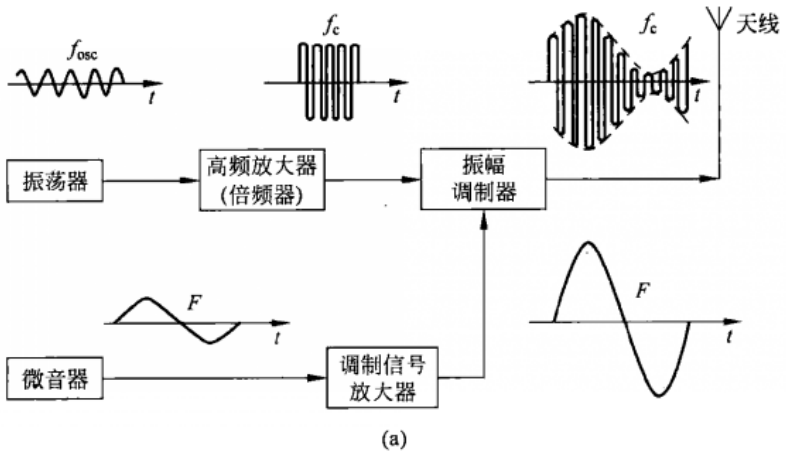


图 A.12 光电检测电路图

7. 声音接收发射放大器

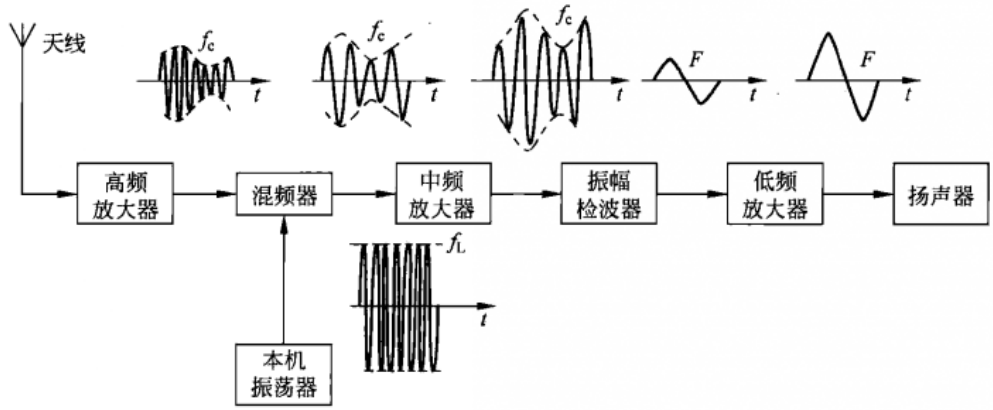
随着声音接收技术的发展，作为接收发射无线电的收发机也不断更新换代。如移动电话在这里用调幅方式的中波发射，接收机的组成方框图(图 A.13)。以前传输方式为单功传输方式，为了让人发出声音指令，让小车接收到指令后，发出已收到信号让人确定。所以用到单双功传输方式(双叫半双功传输方式)。



(a)

图 A.13 声音接收发射放大器

(a) 采用调幅方式的中波广播发射机组成方框图；(b) 采用调幅方式的无线广播接收机组成方框图



(b)

图 A.13(续)

8. 路程计数的设计

通过检测车轮转过的转数，再乘上车轮的周长即可计算路程。霍耳元件就是一种很好的可用于车轮转数计数的元件。在普通转盘计数的仪表中加装霍耳元件和磁铁，即可构成基于磁电转换技术的传感器。霍耳元件固定安装在计数转盘附近，永磁铁安装在计数盘位上，当转盘每转一圈，永磁铁经过霍耳元件一次即在信号端产生一个计量脉冲。由于霍耳电压很微弱(mV 级)，需用霍耳集成电路进行处理，如图 A.14 所示。无论信号转子的哪个叶片通过空气间隙时，霍耳信号发生器都将产生一个电位由高到低的脉冲信号直接送 IOB3 做外部中断源，信号转子通过霍耳元件将产生一个中断，此中断的个数即为车轮的转数。

9. 显示电路

本设计采用共阴极数码管 LG5641AH 进行动态显示。LG5641AH 具有 4 位数码管，这四个数码管的段选 a、b、c、d、e、f、g 分别接在一起，每一个都拥有一个共阴的位选端，通过动态显示可轮流显示时间和路程，这有利于节省 I/O 口。系统显示时间的精度为 1 s，显示路程的精度为 0.01 m。用 IOB8～IOB11 口作为位选控制，IOA8～IOA11 口传输要显示的数据，数据线和位选线直接接凌阳 SPCE061A 单片机的 I/O 口即可，因为 I/O 口输出电流很小不会对 LED 造成损坏，它的电压值却足以驱动 LED，这不像别的单片机还要外接驱动电路和电阻。采用凌阳 SPCE061A 单片机大大简化了设计过程和硬件电路，如图 A.15 所示。

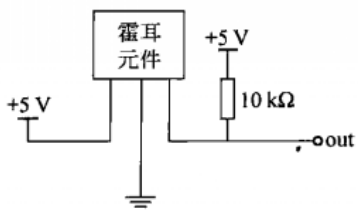


图 A.14 霍耳集成电路处理图

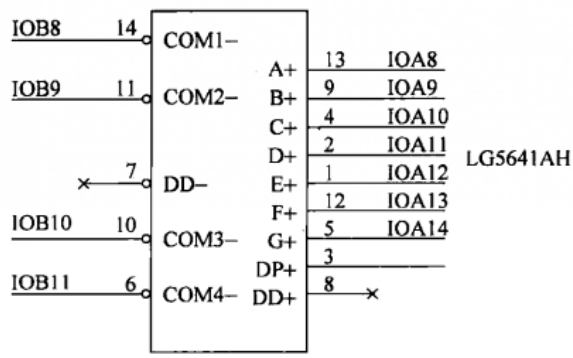


图 A.15 LG5641AH 与 SPCE061A 的接线图

10. 识别音处理过程

打开 μ'nSP™集成开发环境后，可以在资源库中调入已压缩的语音文件，然后就可以用上面所介绍的 API 函数来调用，即可对已压缩的语音信号进行播放。如果要进行语音识别，就必须录入识别音，一般存放在 SRAM 中，随掉电而丢失，识别语音的处理过程见图 A.16。

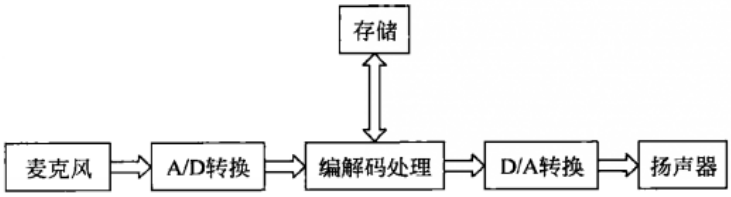


图 A.16 语音处理流程方框示意图

11. 麦克录音输入及 AGC 电路麦克风电路

如图 A.17 所示。凌阳 SPCE061A 是 16 位单片机，具有 DSP 功能，有很强的信息处理能力，最高时钟可达到 49 MHz，具备运算速度高的优势等，这为语音的播放、录放、合成及辨识提供了条件。MIC 为录制语音辨识命令服务。

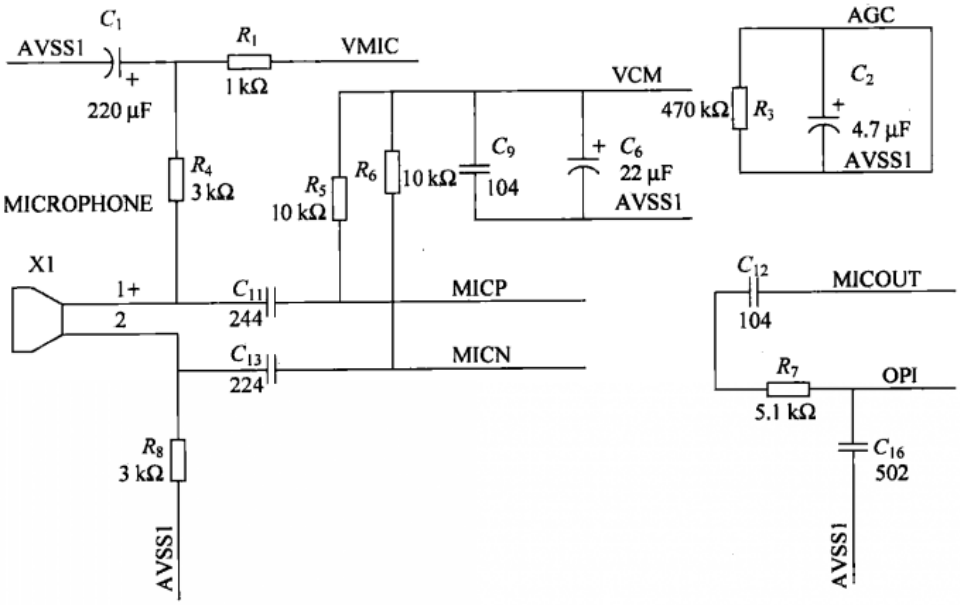


图 A.17 麦克风电路图

12. 语音播报电路音频部分的原理图

语音播报电路音频部分的原理图如图 A.18 所示，在图中可以看到两个跳线，其作用在于可以测量 DAC 的输出波形。另外拔掉跳线，可以断开 DAC 到扬声器放大的通路，使得 DAC 通道处于开路状态。这样便于用 DAC 做其他用途，用户可以用过这个跳线来加入自己的外围电路。音频压缩算法根据不同的压缩比分为以下几种。SACM_A2000：压缩比为

8∶1,8∶1.25,8∶1.5。

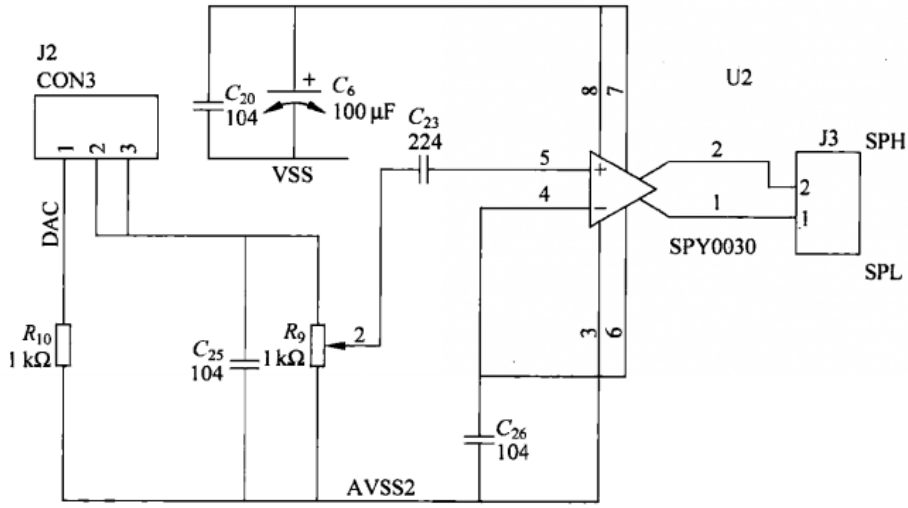


图 A.18 音频放大电路

SACM_S480：压缩比为 80∶3,80∶4.5。

SACM_S240：压缩比为 80∶1.5。

按音质排序为 A2000＞S480＞S240。

用凌阳 CompresS Tool 事先把所需要的语音信号录制好，本系统共包括十多个语音资源，整个语音信号经凌阳 SACM_S480 压缩算法压缩只占有 13.2 KB 存储空间，SPCE061A 单片机具有 32 KB 闪存，使用内部 Flash 即可满足要求。凌阳 SPCE061A 单片机自带双通道 DAC 音频输出，DAC1、DAC2 转换输出的模拟量电流信号分别通过 AUD1 和 AUD2 管脚输出，DAC 输出为电流型输出，所以 DAC 输出经过 SPY0030 音频放大，以驱动喇叭放音，这为单片机的音频设计提供了极大方便。在它们后面接一个简单的音频放大电路和扬声器，即可实现语音播报功能，音频的具体功能主要通过程序来实现。

A.3 系统设计

1. 软件设计流程框图

由于凌阳单片机配有 μ'nSP™集成开发环境，因此在进行软件设计时，很容易实现各项功能，在进行系统软件设计时，先画出系统方框图(见图 A.19)，然后对每一个部分进行程序编写。

(1) 系统基本部分的流程框图

其中，系统初始化包括系统时钟、I/O 口、中断，各存空间 SRAM、CODE、TEXT、ROM(见图 A.19 系统基本部分的流程框图)。

(2) 识别结果获取子程序流程

凌阳公司提供三种不同压缩率的算法，可以直接调用 API 函数库。编写程序来实现语

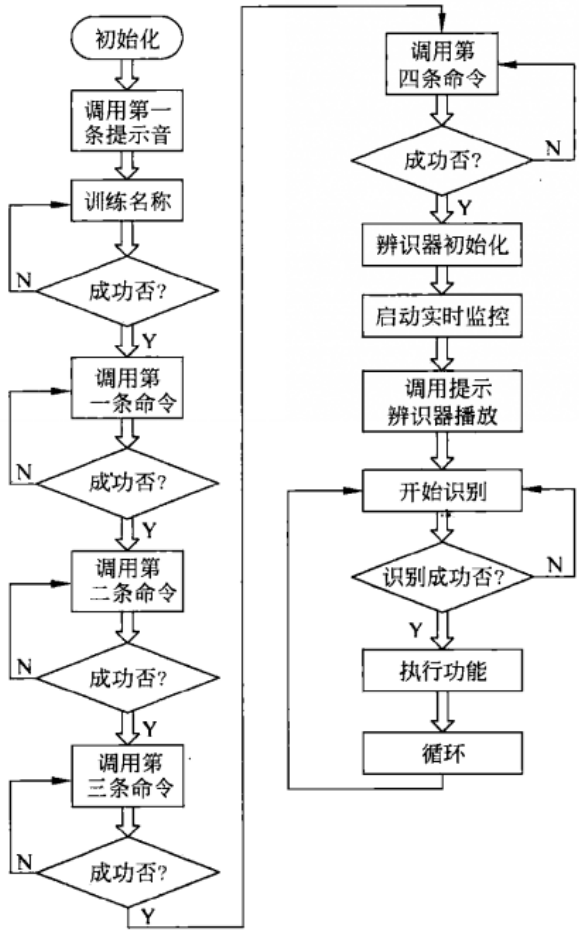


图 A.19 系统基本部分的流程方框示意图

音识别，它的流程框图见图 A.20，根据框图编写相应的程序，对语音信号进行处理。

(3) 中断处理程序流程

SPCE061A 单片机中断系统的中断功能较强，它可以提供 14 个中断源，具有两个中断优先级，可实现两级中断嵌套功能。用户可以用关中断指令(或复位)屏蔽所有的中断请求，也可以用开中断指令(软件中断、异常中断、事件中断)使 CPU 接受中断申请。

事件中断可采用两种方式：快速中断请求，即 FIQ 中断；中断请求，即 IRQ 中断。这两种中断都有相应的优先级。中断向量和中断源共有 9 个中断向量，即 FIQ、IRQ0～IRQ6 及 UART IRQ。这 9 个中断向量共可安置 14 个中断源供用户使用，其中有 3 个中断源可安置在 FIQ 或 IRQ0～IRQ2 中，另有 10 个中断源则可安置在 IRQ3～IRQ6 中。还有一个专门用于通用异步串行口 UART 的中断源，须安置在 UART IRQ 向量中。这里主要用到的中断源是 FIQ 其他的中断未用到，图 A.21 给出了中断的流程框图，根据框图可编写出相应的中断处理程序。

2. 小车运动路线的算法

整个程序由主程序、走 L 字形、走 8 字形、走 3 字形、走跑道子程序模块组成。

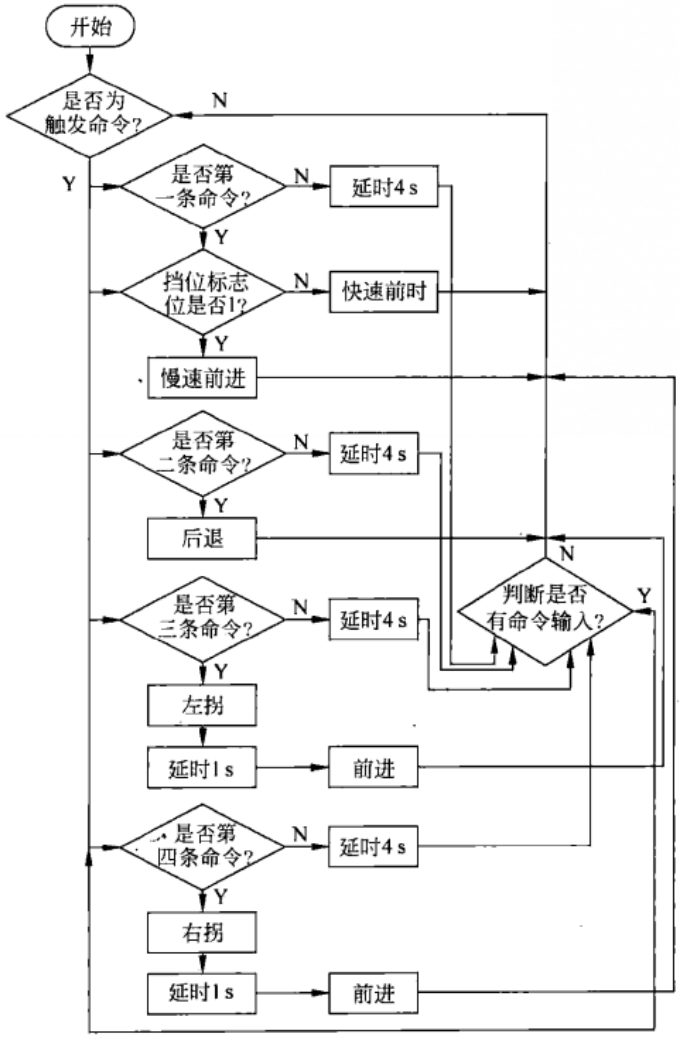


图 A.20 语音识别流程示意图

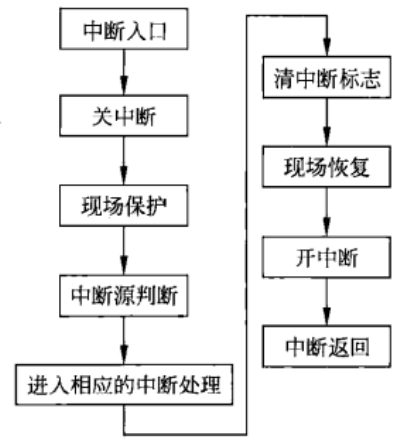


图 A.21 语音识别中断流程示意图

(1) 主程序

主程序的功能是对系统资源进行全面管理。主程序的流程框图如图 A.22 所示,其工

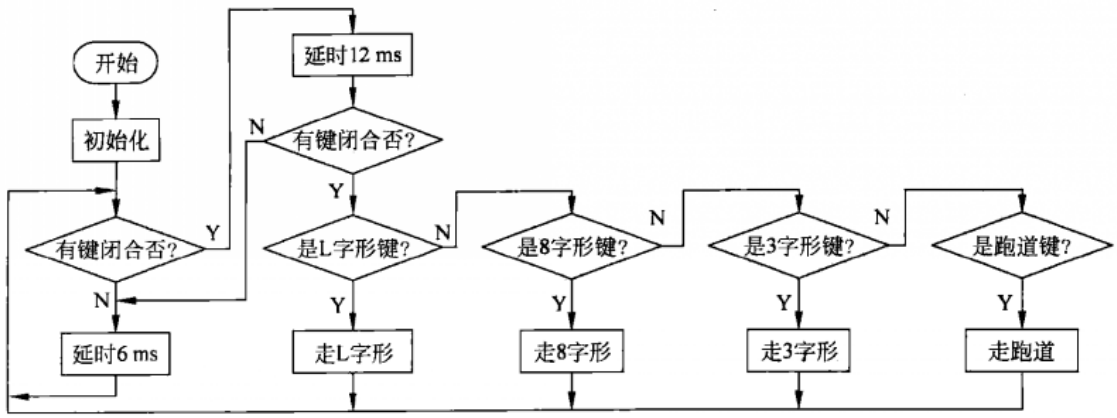


图 A.22 主程序流程框图

作过程是先系统初始化，然后让用户选择并进行识别。若选择走 L 字形键，则进入走 L 字形子程序。若选择走 8 字形键，则进入走 8 字形子程序。若选择走 3 字形键，则进入走 3 字形子程序。若选择走跑道键，则进入走跑道子程序。调用并执行完子程序一次，返回主程序，等待下一次选择。

(2) 走 L 字形子程序

走 L 字形子程序由走垂直线、转 90°弯、走水平线三部分组成。当按下 L 字形键之后，首先置垂直线步数，再输出一个脉冲，驱动电动机运行一步并判断是否完成，以决定是继续走垂直线，还是转弯。转弯和走水平线同理。程序的流程框图如图 A.23 所示。两个前车轮的轨迹如图 A.24 所示。图中①为右车轮的轨迹，②为左车轮的轨迹。已知电动机的步距角为 1.8°，转一圈需走 200 步，车轮直径 $D_0=7$ cm，两个车轮之间的距离为 $D_1=13.5$ cm，若行驶距离为 S，则步数 N 的算法为

$$N=[S/(\pi D_0)]\times 200 \tag{A.1}$$

令垂直线长为 L_1，水平线长为 L_2，则走垂直线时，左、右轮行驶的距离为，$S_1=L_1-D/2$；走 90°圆弧线时，本系统采用一个车轮停止、一个车轮运行的转弯原理。因此，左轮行驶的距离为 0，右轮行驶的距离为 $S_2=\pi D/2$；走水平线时，左、右行驶的距离为 $S_3=L_2-D/2$。将计算出来的距离代入式(A.1)便可得出左、右步进电动机在各段路径应走的步数。

(3) 走 8 字形

走 8 字形轨迹如图 A.25 所示。图中走 8 字形子程序轨迹由走上半圆弧、左转 45°弯、走直线、右转 45°弯、走下半圆弧、右转 45°弯、走直线、左转 45°弯八部分组成。当按下走 8 字形键之后，首先置上半圆弧步数，再输出一个脉冲，驱动电动机运行一步，步数减一并判断是否完成，以决定是继续走圆弧，还是转弯。其他七部分同理。小车在走完上半圆弧后需左转 45°，才能与直线处于一条直线上。其他转弯原因也是如此。程序的流程框图如图 A.26 所示。

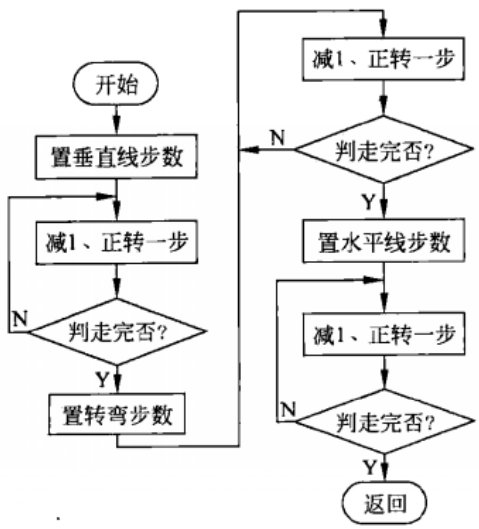


图 A.23　走 L 字形程序流程框图

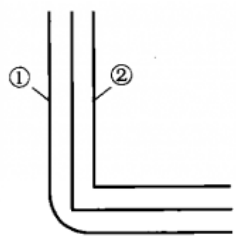


图 A.24　走 L 形轨迹

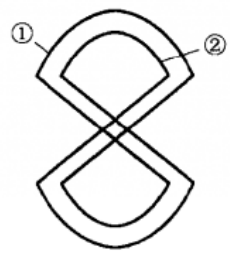


图 A.25　走 8 字形轨迹

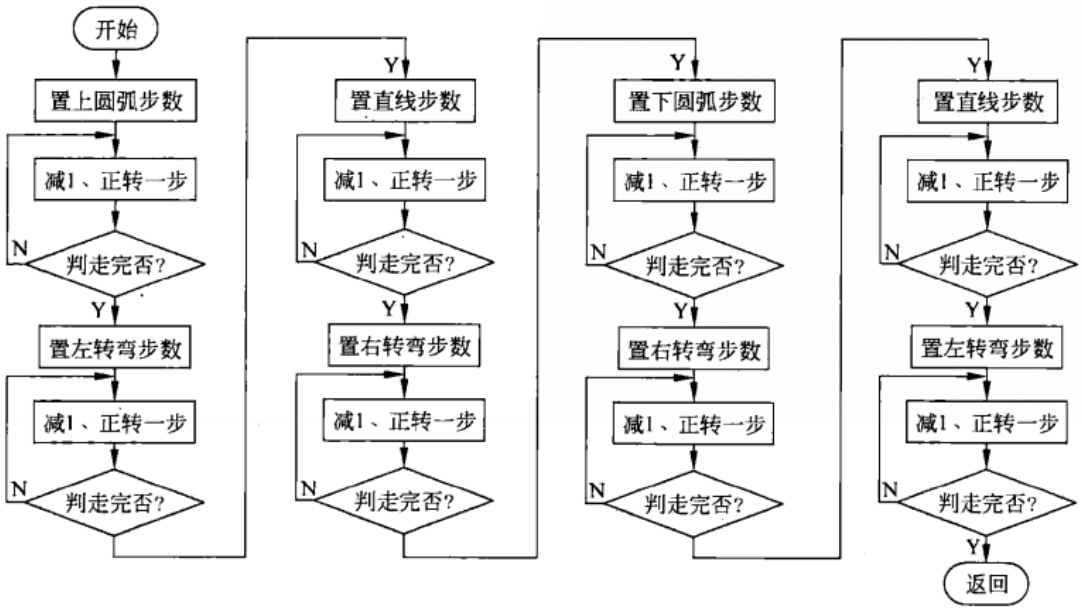


图 A.26　走 8 字形子程序流程框图

已知车轮之间的距离为 D_1，令小半圆的半径为 R，则直线长 $L=2\sqrt{2}R+D_1$，左、右车轮在各段行驶的距离分别为：走上半圆时，左轮行驶的距离为 $S_1=\pi R$，右轮行驶的距离为 $S_2=\pi(R+D_1)$；左转 45°弯时，左轮行驶的距离为 0，右轮行驶的距离为 $S_3=\pi D/4$；走直线时，左、右轮行驶的距离为 $S_4=L-2D_1/\sqrt{2}$；右转 45°弯时，右轮行驶的距离为 0，左轮行驶的距离为 $S_5=L-2D_1/\sqrt{2}$；走下半圆时，左轮行驶的距离为 $S_6=\pi(R+D_1)$，右轮行驶的距离为 $S_7=\pi R$；再右转 45°弯时，左、右轮行驶的距离同右转 45°弯；再走直线时，左、右轮行驶的距离同走直线；再左转 45°弯时，左、右轮行驶的距离同右转 45°弯。

计算出来的距离代入公式(A.1)便可得出左、右步进电动机在各段路径应走的步数。

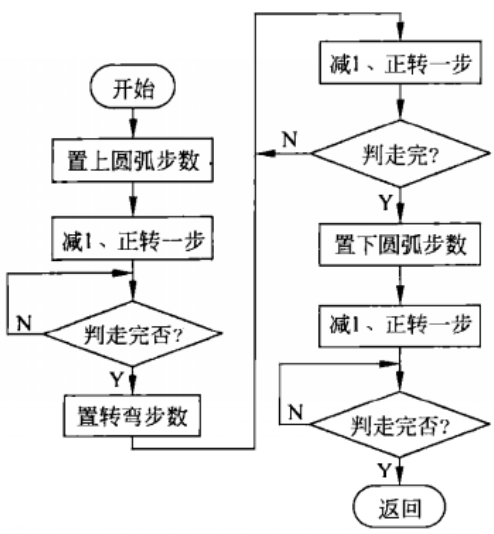


图 A.27　走 3 字形子程序流程框图

(4) 走 3 字形子程序

走 3 字形的路径由走上圆弧、转 180°弯、走下圆弧三部分组成。当按下 3 字形键之后，首先置上圆弧步数，再输出一个脉冲，驱动电动机运行一步并判断是否完成，以决定是继续走圆弧，还是转弯。转弯和走下圆弧同理。程序的流程框图如图 A.27 所示。两个车轮的轨迹如图 A.28 所示。

已知车轮之间的距离为 D_1，令左半圆的半径为 R，左、右车轮在各段行驶的距离分别为：走上半圆时，左轮行驶的距离为 $S_1=\pi R$，右轮行驶的距离为 $S_2=\pi(R+D_1)$；左转 180°弯时，左轮行驶的距离为 0，右轮行驶的距离为 $S_3=\pi D/4$；走下半圆时，左轮行驶的距离为 $S_4=\pi(R+D_1)$，右轮行驶的距离为 $S_5=\pi R$。

计算出来的距离代入式(A.1)便可得出左、右步进电动机在各段路径应走的步数。

(5) 走跑道子程序

走跑道的路径由走直线、上圆弧、直线、下圆弧四部分组成。当按下跑道键之后，首先置直线步数，再输出一个脉冲，驱动电动机运行一步并判断是否完成，以决定是继续走垂直线，还是转弯。其他三部分同理。程序的流程框图如图 A.30 所示。两个车轮的轨迹如图 A.29 所示。已知车轮之间的距离为 D_1，令小半圆的半径为 R，直线长 L，左、右车轮在各段行驶的距离分别为：走直线时，左、右轮行驶的距离为 $S_1=L$；走上半圆时，左轮行驶的距离为 $S_2=\pi R$，右轮行驶的距离为 $S_3=\pi(R+D_1)$；走下半圆时，左轮行驶的距离为 $S_4=\pi R$；走直线时，左轮行驶的距离为 $S_5=L$，右轮行驶的距离为 $S=\pi(R+D_1)$。

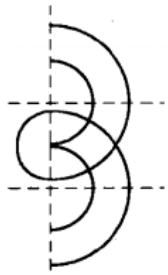


图 A.28　走 3 字形轨迹

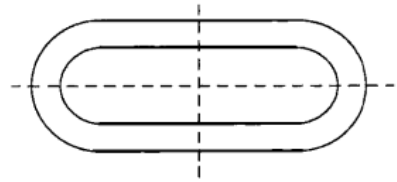


图 A.29　走跑道轨迹

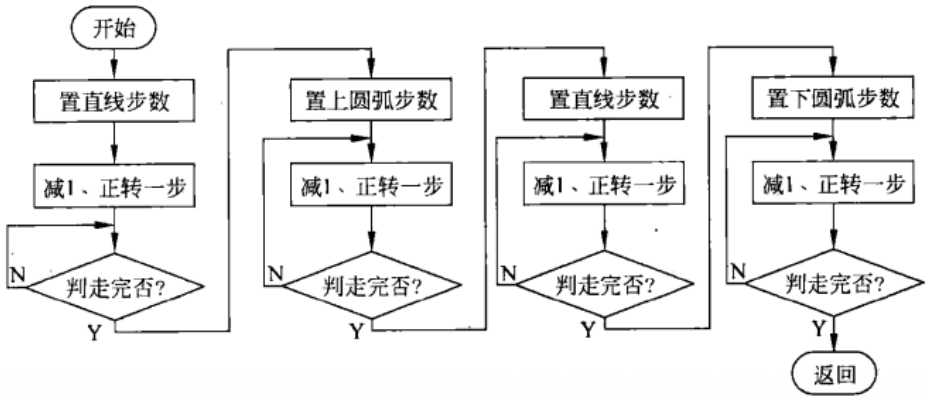


图 A.30　走跑道子程序流程框图

计算出来的距离代入式(A.1)便可得出左、右步进电动机在各段路径应走的步数。

3. 模块设计

中断服务流程图部分(图 A.31)。SPCE061 单片机有两个外部中断，分别为 EXT1 和 EXT2，两个外部输入脚分别为 B 口的 IOB2 和 IOB3 的复用脚。EXT1(IOB2)和 EXT2(IOB3)两条外部中断请求输入线，用于输入两个外部中断源的中断请求信号，并允许外部中断以负跳沿触发方式来输入中断请求信号。EXTI(IOB2)为黑线检测，确定小车位置，EXTZ(IOB3)为轮子转数检测用于计算路程。IRQ4 用做整个行程的时间计数。

4. 显示和播报部分

当收到 3 次辨识循环，小车停止，进行路程的显示和拨报，路程的显示采用动态显示。显示路程采用 4 位显示，单位为 mm，显示子程序流程图(图 A.32)，显示的同时用语音播报

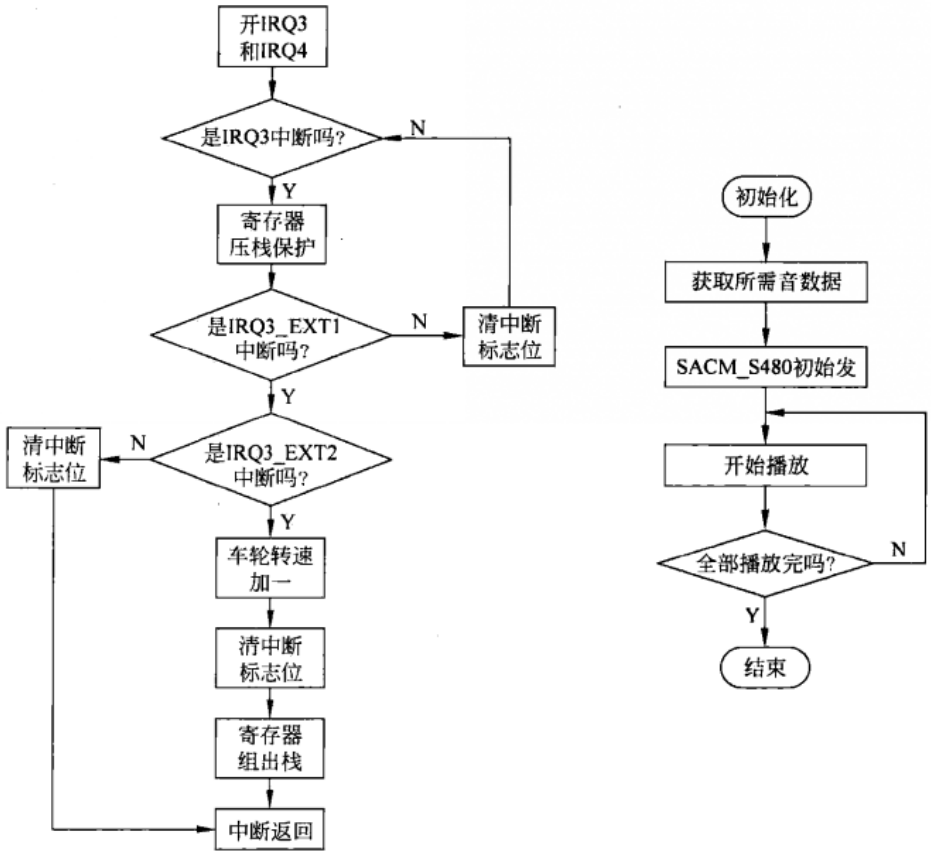


图 A.31 中断服务流程图

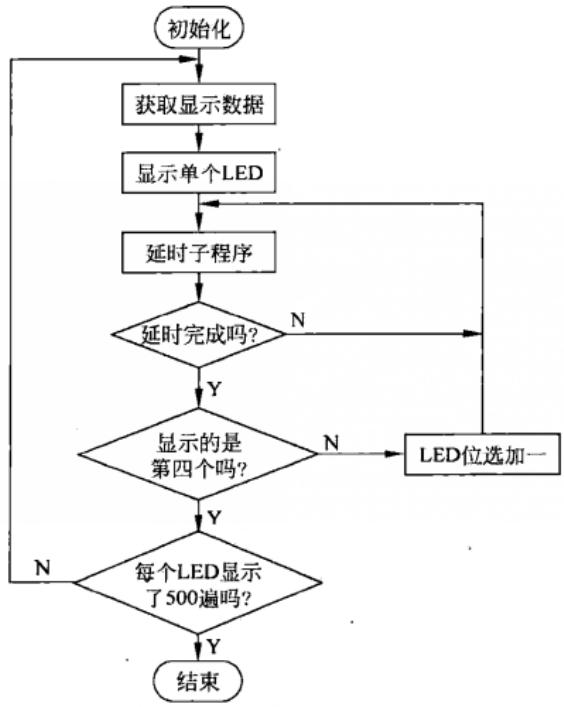


图 A.32 显示和播报图

时间和路程，语音采用凌阳 SACM_S480 语音播报。

5. 语音辨识部分

这里用 SPCE061 的特定语者辨识 SD(speaker dependent)。SD 的语音样板由单个人训练，也只能识别训练某人的语音命令，而他人的命令识别率较低或几乎不能识别。图 A.33 是语音辨识的一个整体框图。

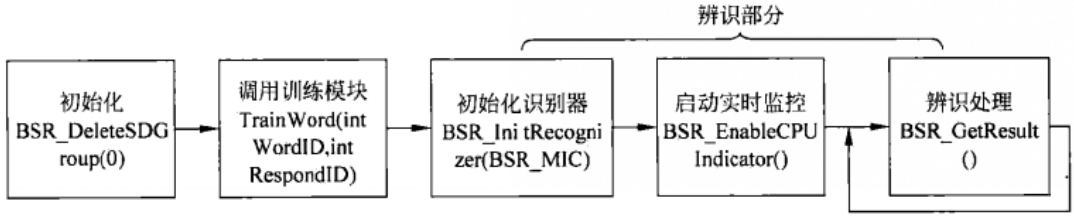


图 A.33 语音辨识整体框图

在程序中通过 4 条语句的训练演示特定人连续音识别，其中第一条语句为触发名称，另外三条为命令，训练完毕开始辨识。当识别出触发名称后，开始发布命令，则会听到自己设置的应答，具体流程图如图 A.34 所示。

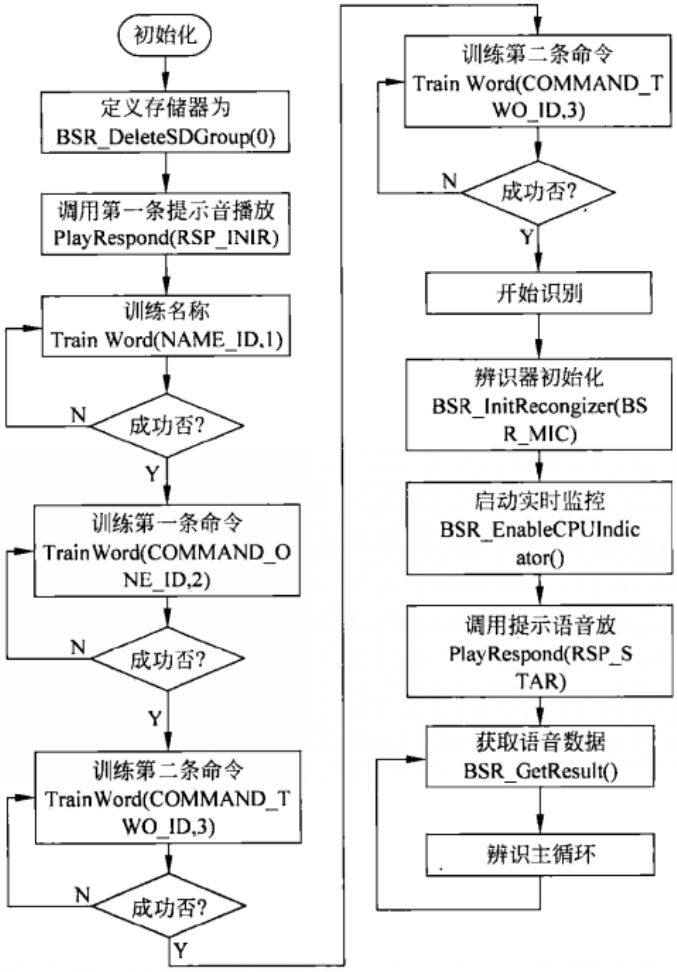


图 A.34 语音辨识具体流程图

参考文献

1.《运输机械设计选用手册》编辑委员会.运输机械设计选用手册(上册).北京:化学工业出版社,1999
2.《运输机械设计选用手册》编辑委员会.运输机械设计选用手册(下册).北京:化学工业出版社,1999
3. 张钺.新型带式输送机设计手册.北京:冶金工业出版社,2001
4. 成大先.机械设计手册(第4卷).北京:化学工业出版社,2002
5. 田奇.仓储物流机械与设备.北京:机械工业出版社,2008
6. 朱宏吉,张明贤.制药设备与工程设计.北京:化学工业出版社,2004
7. 刘远伟.物流机械.北京:机械工业出版社,2006
8. 冯爱兰,王国华.物流技术装备.北京:人民交通出版社,2005
9. 全燕鸣.机械制造自动化.广州:华南理工大学出版社,2008
10. 刘德忠,费仁元.Stefan Hesse.装配自动化.北京:机械工业出版社,2007
11. 冯辛安.机械制造装备设计.北京:机械工业出版社,2006
12. 王启义.机械制造装备设计.北京:冶金工业出版社,2003
13. 孔令中.现代物流设备设计与选用.北京:化学工业出版社,2005
14. 冯鹤敏,陈彩凤.机械工程基础.北京:化学工业出版社,2005
15. 李建勇.机电一体化技术.北京:科学出版社,2004
16. 徐元昌.机电系统设计.北京:化学工业出版社,2005
17. 张春林.机械工程概论.北京:北京理工大学出版社,2003